

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნატალია ომანიძე

ფორიანი მასალების მიღება წვრილმარცვლოვანი
თიხაფიქალის და ტექნოგენური ორგანული დანამატების
საფუძველზე

დისერტაცია წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია;
შიფრი - 0410

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

საავტორო უფლება © 2018 წელი, „ნატალია ომანიძე“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნატალია ომანიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ფორიანი მასალების მიღება წვრილმარცვლოვანი თიხაფიქლის და ტექნოგენური ორგანული დანამატების საფუძველზე“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის“ სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი: „----“ „-----“, 2018 წელი

ხელმძღვანელი: პროფესორი თეიმურაზ ჭეიშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2018 წელი

ავტორი: ნატალია ომანიძე

დასახელება: ფორიანი მასალების მიღება წვრილმარცვლოვანი თიხაფიქალის და ტექნოგენური ორგანული დანამატების საფუძველზე

ფაკულტეტი: ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: „-----“ „-----“, 2018 წელი

ინდივიდუალური პიროვნების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ მოყვანილი დასახელების სადისერტაციო ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს, და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ჩემი წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტირებებისა, რომლებიც მოითხოვს მხოლოდ სპეციფიკურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომის შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ენერგომატარებლებზე მზარდი მოთხოვნები და ამავდროულად მარაგების კლებადობის ტენდენციები თანამედროვეობის უმნიშვნელოვანეს პრობლემად არის მიჩნეული. აღნიშნული მთელი რიგი პრობლემების გადაწყვეტას მოითხოვს, რომელთაგან თავისი მნიშვნელობით გამოყოფენ შემომზღუდი კონსტრუქციების და თბური აგრეგატების სითბური იზოლაციის ეფექტურობის გაზრდას. კერძოდ, დღის საკითხში დგას ამოცანა, რომელიც უშუალოდ უკავშირდება სითბური დანაკარგების შემცირებას – სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო შენობების კედლებიდან, თბური აგრეგატების და სითბური ტრასების და სხვათა ზედაპირიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი სითბოს რაოდენობის მინიმიზაციას. მიიჩნევენ, რომ სპეციალური თბოსაიზოლაციო მასალების მიზნობრივი გამოყენებით შესაძლებელია 30% და მეტი რაოდენობით საწვავ-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვა, რაც მოითხოვს სპეციალური მაღალეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებას. თბოსაიზოლაციო მასალების ძირითადი ნაწილი წარმოდგენილია ფოროვანი მასალებით, რომლებიც ხასიათდებიან დაბალი სიმკვრივით (600 კგ/მ³ ნაკლები) და თბოგამტარობით (არ აღემატება 0,18 ვტ/გ·K). თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებით მიიღწევა არა მარტო სითბოს დაზოგვა, არამედ შესაძლებელი ხდება სამშენებლო კონსტრუქციების წონის შემცირებაც. ზოგადად, მათი გამოყენების სფეროების მრავალფეროვნებას განსაზღვრავს მექანიკური სიმტკიცე, მაღალი ქიმიური და ბიოლოგიური მედეგობა, დაბალი ჰიგროსკოპიულობა, ტემპერატურამედეგობა და სხვ. აღნიშნულ მახასიათებლებთან სრულ შესატყვისობას არაორგანული ბუნების ფორიანი მასალები ავლენენ, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა: სამშენებლო საქმე (შემსუბუქებული კონსტრუქციები), კერამიკა (მსუბუქი ნაწარმი), აგროინდუსტრია. პერსპექტიულად მიიჩნევენ ფოროვან არაორგანულ მასალათა გამოყენებას ნავთობგადამუშავების, მედიცინის და სხვა დარგებში.

არაორგანული ფოროვანი მასალების ფართო გამოყენებას, მათ უნიკალურ თვისებათა გარდა, განსაზღვრავს სანედლეულო ბაზა – მათი მიღება შესაძლებელია ბუნებრივი ქანებიდან და ტექნოგენური მასალებიდან, რომლებიც სპეციფიკური ტექნოლოგიებით გადამუშავდება. ფოროვანი მასალების მიღება შესაძლებელია როგორც მინის ლეწიდან (ქაფმინა), ასევე მაგმური (პერლიტები, პეხშტეინები და სხვ.) და ნალექი (მაგ., თიხები, თიხაფიქალები და სხვ.) ქანების საფუძველზე. ასეთი ნედლეულის გადაყვანა ფოროვან მასალაში მოითხოვს მათ მომზადებას და შემდგომი თერმული დამუშავებით აფუებას. ამა თუ იმ ბუნებრივი ქანიდან თერმოაფუებით ფოროვანი მასალის მიღების მთავარი პირობა – ნედლეულის ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობა და მათი გადამუშავება – აფუების ტექნოლოგიათა წარმართვასთან დაკავშირებული სირთულეებია. ხელოვნური ფორიანი მასალების ნაირსახეობიდან (აფუებული პერლიტი, ობსი-

დიანი, ვერმიკულიტი და სხვ.) გამოყოფენ კერამზიტს, რომელიც გარკვეული შედგენილობის თიხებიდან და თიხაფიქალებიდან მიიღება. კერამზიტს მიიჩნევენ ერთ-ერთ იაფ ნატურალურ დამატებობლად და მისი ძირითადი მომხმარებელი – სამშენებლო ბიზნესია, მაგრამ ცნობილია გამოყენების სხვა სფეროებიც (თბოსაიზოლაციო ნაკეთობანი, მებაღეობა და სხვ.). აღნიშნული მასალა ფართოდ იწარმოება და გამოიყენება მთელ მსოფლიოში, რადგან მათი მიღების სანედლეულო ბაზას ძირითადად ხელმისაწვდომი თიხები წარმოადგენენ, მაგრამ ასევე გამოიყენება წიაღისეულში ნაკლებად გავრცელებულ თიხაფიქლებს.

აფუებისადმი მიდრეკილი ბუნებრივი ქანები ფართოდ არის გავრცელებული საქართველოში, მაგრამ მათგან პრაქტიკულად მხოლოდ ფარავნის პერლიტიდან იწარმოება აფუებული მასალები – საბათქაშე და აგრარული დანიშნულების პროდუქცია. ნაკლებადაა შესწავლილი ადგილობრივი თიხოვანი ქანების აფუების საკითხი, მაგრამ გარკვეული შედეგები მიღებული კახეთის რეგიონში, მდ. დურუჯის ხეობაში არსებული ნატანი ქანის – ყვარლის ფიქლის სამრეწველო მიზნებით გამოყენებასთან მიმართებაში. საკითხის მნიშვნელობას აგრეთვე განსაზღვრავს ის გარემოება, რომ ფიქლის მზარდი რაოდენობა ყვარლის რაიონში მწვავე ეკოლოგიური პრობლემების არსებობის მიზეზი ხდება. არსებული მონაცემებით, ყვარლის ფიქლის სანედლეულო ბაზად გამოყენება რეკომენდირებულია სამშენებლო საქმეში (ცემენტის დაფქვის დანამატად ან ბეტონების შემესვებლად), მინის და ქვის სხმის წარმოებაში, აფუებული მასალების მისაღებად და ა.შ.

წინამორბედი კვლევით დადგინდა, რომ ტრადიციული ხერხით – თერმოაფუებით ყვარლის ფიქლიდან შესაძლებელია ფოროვანი მასალების მიღება. რეკომენდირებულია თერმული აფუების ორსაფეხურიანი რეჟიმი (პირველი საფეხური – 700-800°C, მეორე საფეხური – 1200-1250°C), რომელიც უზრუნველყოფს ისეთი ფოროვანი მასალების მიღებას, რომლებიც დაბალი მოცულობითი სიმკვრივით (350-600 კვ/მ³), მაღალი მექანიკური სიმტკიცით კუმშვაზე (15 მპა-მდე) და წყალმედევობით ($k_{\text{გარ.}} \geq 0,75$) ხასიათდებიან. შემუშავდა ყვარლის ფიქლიდან ფოროვანი მასალის მიღების ტექნოლოგიური სქემა, რომელშიც გამოირიცხა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ბუნებრივი ყვარლის ფიქლის მარცვლების მონაწილეობა და აღნიშნულის მიზეზად მიჩნეულია მათი მონაწილეობით აფუების პროცესის სრულყოფილად ჩატარების შესაძლებლობა.

აღნიშნულის გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ განხორციელდა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ძნელადაფუებული ყვარლის ფიქლის თერმოაფუების პროცესის შესწავლა და ფოროვანი მასალის მიღების ტექნოლოგიათა დადგენა, კერძოდ, ორგანული ბუნების დანამატების მიზნობრივი გამოყენებით. მიღებულ მასალათა პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობათა დადგენის მიზნით, შესწავლილ იქნა მათგან შემსუბუქებული სამშენებლო მასალების მიღების შესაძლებლობა.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა წვრილფრაქციული (5მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლები) ყვარლის ფიქლის და ტექნოგენური ორგანული დანამატების (ამორტიზირებული ზეთი, ხახერხი, ქვანახშირის წვრილმანი)

საფუძველზე შედგენილი ნარეგების (კაზმის) აფუებისადმი მიდრეკილების შესწავლა, მიღებული ფოროვანი მასალების თვისებების შესწავლა და სამშენებლო სფეროში მათი გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა.

საკვლევი ნარეგების თერმოდამუშავება განხორციელდა ორი რეჟიმით: ტემპერატურათა ზრდით ოთახის ტემპერატურიდან აფუების ტემპერატურამდე (დინამიკური რეჟიმი, ტემპერატურის აწევის სიჩქარე $10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$) ან საცდელი კაზმების მაღალტემპერატურულ გარემოში (აფუების ტემპერატურაზე გახურებული ღუმელი) შეტანით (სტატიკური რეჟიმი). ორივე შემთხვევაში აფუების ტემპერატურა $1200-1250^{\circ}\text{C}$, ხოლო ამ ტემპერატურაზე დაყოვნება 10-15 წთ-ს შეადგენდა. მიღებული ფორიანი მასალების თვისებების დადგენა განხორციელდა არაორგანულ ფოროვან თბოსაიზოლაციო და აკუსტიკურ მასალათა შესწავლაში მიღებული ტექნიკური ანალიზის და ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებათა შესწავლის მეთოდებით.

ჩატარებული კვლევით დადგინდა, რომ იდენტური თერმული დამუშავების პირობისათვის, დინამიკური თერმული დამუშავების პირობებში ყვარლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუების მაქსიმუმი მიიღწევა 2 მას. % ზეთის, 3-4 მას. % ნახერხის ან ნახშირის წვრილმანის დანამატად აღების შემთხვევაში. მოყვანილი წინაპირობით მიღებული ფოროვანი მასალათა საშუალო მოცულობითი სიმკვრივე $550-600\text{ კგ}/\text{მ}^3$. ასევე დადგინდა, რომ აფუების პროცესი უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს სტატიკური რეჟიმით თერმოდამუშავებისას, რომელიც უზრუნველყოფს $400-600\text{ კგ}/\text{მ}^3$ მოცულობითი სიმკვრივიანი ფოროვანი მასალების მიღებას. სტატიკური რეჟიმით თერმოაფუებისას რეკომენდირებულია ქვანახშირის წვრილმანის გამოყენება, მისი 100 მას. % ფიქალზე 3-4 მას %-იანი დანამატის სახით.

ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებიდან (ორგანული ბუნების დანამატის გამოყენებით) მიღებულია ქვიშის და ხრეშის გრანულომეტრიის ფოროვანი მასალები, რომლებიც ხასიათდებიან დაბალი მოცულობითი სიმკვრივით ($400-600\text{ კგ}/\text{მ}^3$), დასაშვები წყალშთანთქმით (9-24%), მაღალი წყალმედევობით (გარბილების კოეფიციენტი $>0,7$) და კარგი მექანიკური სიმტკიცით (5-13 მპა). დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის აფუებით მიიღება ისეთი მასალები, რომელთა ჭეშმარიტი ფორიანობა 75-77%-ს, ხოლო დახურული ფორების რაოდენობა 69-71%-ს შეადგენს.

მიღებულ მასალათა თვისებათა და მსგავსი პროდუქტის – კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიათა ანალიზით შესაძლებლადაა მიჩნეული და რეკომენდირებულია ფოროვანი მასალის მიღება „წვრილმარცვლოვანი ფიქალი – ქვანახშირის წვრილმანი“ ნარეგებიდან (4 მას. % ნახშირის დამატებით), ხოლო პროცესის ჩატარება ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმით (მაქსიმალური ტემპერატურა $1230\pm 20^{\circ}\text{C}$, დაყოვნება 10-15 წთ). მიღებული ფოროვანი მასალების პრაქტიკული გამოყენების სფეროს დასადგენად ქვიშა-ხრეშის ფრაქციებით განხორციელდა ბეტონის სინჯების მიღება და გამოცდა (მოცულობითი წონა $1100-1530\text{ კგ}/\text{მ}^3$, სიმკვრივე კუმშვაზე 11,8-13,8 მპა), რომელმაც აჩვენა მათგან შემსუბუქებული ბეტონის ნაწარმის მიღების პერსპექტიულობა.

Abstract

Raised demands for energy carriers and at the same time stock reduction trends are considered as a major problem of contemporaneity. The above mentioned requires solution of variety of problems, among which according to their importance one can single out increase in efficiency of thermal insulation of enclosing structures and thermal generating units. In particular, there is on the agenda a task, which is directly connected to reduction of heat losses – minimization of heat quantity entering the atmosphere from the walls of industrial and domestic buildings, and from surfaces of thermal generating units, heating lines and other surfaces. It is considered that intended use of special heat insulating materials can secure 30% and more saving of heat and power resources that requires the use of special high-efficiency heat insulating materials. Basic part of heat insulating materials is represented by porous materials, which are characterized by low density (less than 600 kg/m^3) and low thermal conductivity (doesn't exceed $0,18 \text{ Wt/g}\cdot\text{K}$). Use of heat insulating materials makes possible achievement of not only heat economy, but also weight reduction of building constructions. In general, diversity of areas of their application is determined by mechanical strength, high chemical and biological resistance, low hygroscopic properties, temperature resistance etc. Full compliance with mentioned characteristics is demonstrated by porous materials of inorganic nature, which are widely used in various fields of industry, such as: construction (light-weight structures), ceramics (light-weight wares), agricultural industry. Use of porous inorganic materials is considered as prospective in oil processing field, medicine and other field.

Wide application of inorganic porous materials, besides their unique properties is determined by raw material base – it is possible to receive them from natural rocks and technogenic materials, which are processed using specific technologies. Porous materials can be obtained both from broken glass (foam glass), and on the basis of magmatic (perlites, pitchstones) and sedimentary rocks (eg., clays, clayey micas etc.). Processing of these raw materials into porous materials requires the preparation and swelling through consequent thermal processing. Basic condition of getting porous materials from one or another natural rocks by thermal swelling – chemical-mineralogical composition of raw materials and their processing – is a difficulty related to implementation of swelling technologies. Among the diversity of artificial porous materials (foamed perlite, obsidian, vermiculite etc.) they single out keramzit (claydite or bloating clay), which is obtained from clays and clayey micas of certain composition. Keramzit is considered as one of the cheapest natural heat insulators and its basic consumer is construction business, though there are also known other areas of its use (heat insulating wares, gardening etc.). Mentioned material is widely produced and used

worldwide, since the raw material base of their receipt is basically represented by accessible clays, though clayey micas less expanded in the mineral resources are also used.

Natural rocks which are subject to swelling are widely spread in Georgia, but foamed materials – plasters and products for agricultural purposes are produced almost only from Paravani perlites. The issue of swelling of local clayey rocks is less studied, though some results are obtained in Kakheti region, regarding industrial use of Kvareli slate, mantle rock available in Duruji River valley. Importance of this issue is also predetermined by the fact that increased quantity of slate becomes a reason of acute ecological problem in Kvareli district. According to available data, use of Kvareli slate as raw material base is recommended in construction business (as additive for cement milling or concrete filler), foundry production of glass and stone, for receipt of foamed materials etc.

It was established according to previous studies that using traditional way – thermal swelling it is possible to get porous materials from Kvareli slate. There is recommended two-stage mode of thermal swelling (first stage – 700-800°C, second stage – 1200-1250°C), which secures production of such porous materials, which are characterized by low bulk density (350-600 kg/m³), high mechanical compressive strength (up to 15 MPa) and water resistance ($k_{\text{soft.}} \geq 0,75$). Process scheme of porous material production from Kvareli slate is elaborated, which eliminates participation of natural Kvareli slate grains with less than 5 mm fraction size and due to mentioned reason the possibility of full-value conduct of swelling process with their involvement is established.

Taking into account the above mentioned we have studied the process of thermal swelling of hardy-foamed Kvareli slate with less than 5 mm fraction size and have established porous material production technologies, in particular, targeted use of additive of natural origin. In order to establish the opportunities of practical application of obtained materials there was studied a possibility of production of light-weight construction materials from them.

Research subject was the study of propensity to swelling of mixtures (furnace-charge) composed of Kvareli slate of small fraction (grains with size less than 5 mm) and technogenic organic additives (worked-out oil, sawdust, coal fines), study of properties of obtained porous materials and establishment of possibility of their use in construction field.

Thermal processing of surveyed mixtures was conducted by two modes: temperature rise from room temperature to swelling temperature (dynamic mode, rate of temperature rise 10°C/min) or insertion of test furnace-charge into high-temperature medium (furnace heated up to swelling temperature) (static mode). In both cases swelling temperature is 1200-1250°C, while delay at this temperature was 10-15 minutes. Properties of obtained porous materials were established according to technical analysis and methods of study of physical-chemical properties acceptable in the area of exploration of inorganic porous heat insulating and acoustic materials.

According to carried out researches it was established that in case of identical thermal processing, under conditions of dynamic thermal processing the swelling maximum of finely-grained Kvareli slate fraction is reached when taking of 2 mass. % of oil, 3-4 mass. % of sawdust or coal fines as additives. Average bulk density of porous materials obtained under the given preconditions is 550-600 kg/m³. It was also established that swelling process runs more intensively during thermal processing by static mode that secures receipt of porous materials with 400-600 kg/m³. In case of thermal swelling by static mode the use of coal fines is recommended in the form of 3-4 mass. % additive per 100 mass. % of slate.

Porous materials of sand and gravel granulometry, which are characterized by low bulk density (400-600 kg/m³), acceptable water absorption (9-24%), high water resistance (softening factor >0,7) and good mechanical strength (5-13 MPa). It was established that swelling of Kvareli slate allows obtaining of such materials, actual porosity of which is 75-77%, while quantity of closed pores is 69-71%.

By analysis of properties of obtained properties and technologies of similar product – keramzit there was considered as a possible and recommended to obtain porous materials from the mixture of “finely-grained slate – coal fines” (with addition of 4 mass. % of coal), and to conduct a process by the one-stage thermal processing mode (maximum temperature 1230±20°C, delay – 10-15 min).

In order to establish the sphere of practical application of obtained porous materials with sand-gravel fractions there were obtained and tested concrete samples (bulk density 1100-1530 kg/m³, compressive strength 11,8-13,8 MPa) that demonstrated the prospects of receipt of light-weight concrete products from them.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შესავალი	16
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	22
1.1. ბუნებრივი და ხელოვნური ფორიანი მასალები	24
1.2. ტრადიციული ფორიანი მასალები, მათი მიღება და გამოყენება.....	28
1.3. ფორიანი მასალები აფუებული თიხების და თიხაფიქლების საფუძველზე.....	34
1.4. ყვარლის ფიქლის მიზნობრივი შესწავლის შედეგები.....	40
1.5. დასკვნები და კვლევის ძირითადი მიმართულებების განსაზღვრა.....	46
2. შედეგები და მათი განსჯა	50
2.1. ყვარლის ფიქლის ქიმიურ-მინერალოგიური შესწავლის შედეგების ანალიზი	50
2.2. ნაშრომში გამოყენებული კვლევის მეთოდები	59
2.2.1. საკვლევი ობიექტის ფიზიკური მდგომარეობა და საცრიო ანალიზი	60
2.2.2. ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის ჩატარება	61
2.2.3. მოცულობითი მასის (ნაყარი სიმკვრივე) და აფუების კოეფიციენტის განსაზღვრა	62
2.2.4. საკვლევი მასალების წყალშთანთქმის უნარის დადგენა	63
2.2.5. აფუებული მასალის ფორიანობის განსაზღვრა	64
2.2.6. კუმშვაზე სიმტკიცის და წყალმდეგობის დადგენა	66
2.2.7. საკვლევი მასალების რენტგენოფაზური და თერმული ანალიზის მეთოდები.....	67
2.3. ორგანული ბუნების ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის დინამიკური რეჟიმით ჩატარებულ თერმოაფუებაზე.....	68
2.4. ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის სტატიკური რეჟიმით ჩატარებულ თერმოაფუებაზე	84

2.5. ტექნოგენური ნარჩენების საფუძველზე მიღებული ფოროვანი მასალების მახასიათებელი თვისებების და მათი სამშენებლო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობის შესწავლა	91
დასკვნა.....	98
გამოყენებული ლიტერატურა	100

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. ფარავნის საბადოს ობსიდიანის და პერლიტის ქიმიური შემადგენლობა	32
ცხრილი 2. ფარავნის პერლიტის და ობსიდიანის აფუებით მიღებული მასალების მახასიათებელი თვისებები.....	32
ცხრილი 3. აფუებული პერლიტის მისაღებად გამოყენებული ღუმელების მახასიათებლები.....	33
ცხრილი 4. კერამზიტის სიმტკიცე კუმშვაზე (სიმტკიცის მარკა) და ზღვრული სიმტკიცის მნიშვნელობები.....	35
ცხრილი 5 - კერამზიტის მასალებად გამოყენებული თიხოვანი ქანების ქიმიური შემადგენლობები.....	36
ცხრილი 6. ცემენტის შემადგენლობა და თვისებები.....	43
ცხრილი 7. ბეტონის შემადგენლობა და თვისებები.....	43
ცხრილი 8. სხვადასხვა კვლევებში გამოყენებული ყვარლის ფიქლის ნიმუშების ქიმიური შედგენილობები.....	51
ცხრილი 9. სხვადასხვა კვლევებში შესწავლილი ყვარლის ფიქლის გასაშუალოებული(1) და საცდელი (2) სინჯის ქიმიური შედგენილობები.....	54
ცხრილი 10. წვრილმარცვლოვანი ყვარლის ფიქლის ფრაქციებად დაყოფისას გამოყენებული საცრები.....	61
ცხრილი 11. ყვარლის ფიქლის საკვლევი სინჯის ქიმიური შედგენილობა.....	70
ცხრილი 12. ოპტიმალური ნარევიდან მიღებული აფუებული მშრალი მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები და სიმტკიცე კუმშვაზე.....	80
ცხრილი 13. ოპტიმალური შედგენილობის ნარევიდან მიღებული აფუებული და წყლით გაჯერებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე და გარბილების კოეფიციენტის მნიშვნელობები.....	80
ცხრილი 14. დოლომიტის და ნახშირის 5%-იანი დანამატებით შედგენილი ფიქალიანი ნარევის აფუებით მიღებული	

მასალების ცალკეული ფრაქციების ნაყარი მოცულობითი წონები.....	87
ცხრილი 15. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების გამოყენებით მიღებული ფოროვანი მასალების მახასიათებელი თვისებები.....	92
ცხრილი 16. კერამზიტის და აფუებული ფიქლის თვისებათა შედარებითი მონაცემები.....	94
ცხრილი 17. აფუებული ფიქალის (ფ) და ბუნებრივი პემზის (პ) საფუძველზე შედგენილი ნარევების შედგენილობა (წონ.%).....	95
ცხრილი 18. აფუებული ფიქალის (ფ) და ბუნებრივი პემზის (პ) საფუძველზე მიღებული ბეტონის კუბების ტესტირების შედეგები.....	97

ნახაზების ნუსხა

- ნახაზი 1.** ყვარლის ფიქლიდან აფუებული (ფოროვანი) მასალის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა.....45
- ნახაზი 2.** მასალათა თერმული დამუშავების გრაფიკი ტემპერატურითა უწყვეტი ზრდის რეჟიმში.....70
- ნახაზი 3.** ნედლი ფიქალის ფრაქციულობის გავლენა ნაყარის მოცულობით წონაზე.....71
- ნახაზი 4.** ტემპერატურის უწყვეტი ზრდის რეჟიმით მიღებული აფუებული ფიქალის ნაყარი მოცულობით წონის დამოკიდებულება მასალის ფრაქციულობაზე.....72
- ნახაზი 5.** ზეთის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე.....73
- ნახაზი 6.** ნახერხის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე.....73
- ნახაზი 7.** ნახშირის დანამატის რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე.....74
- ნახაზი 8.** ზეთის დანამატის რაოდენობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტზე.....75
- ნახაზი 9.** ნახერხის დანამატის რაოდენობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტზე.....76
- ნახაზი 10.** ნახშირის დანამატის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტზე.....76
- ნახაზი 11.** ორგანული დანამატის (1%) სახეობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტზე.....77
- ნახაზი 12.** ორგანული ბუნების დანამატის რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის წმინდა ფრაქციის ($\delta=0,5-1\text{მმ}$) აფუების კოეფიციენტზე.....78
- ნახაზი 13.** ორგანული ბუნების დანამატთა რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის საშუალო ფრაქციების ($\delta=1-2\text{ მმ}$) აფუების კოეფიციენტზე.....79

ნახაზი 14. ორგანული ბუნების დანამატთან რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის მსხვილი ფრაქციების ($\delta=2-5$ მმ) აფუების კოეფიციენტზე.....	79
ნახაზი 15. სხვადასხვა ფრაქციულობის აფუებული ყვარლის ფიქლის მარცვლების ზომების და წყალმედვობის (გარბილების კოეფიციენტი) ურთიერთდამოკიდებულება.....	82
ნახაზი 16. ყვარლის ფიქლის და 1% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები.....	88
ნახაზი 17. ყვარლის ფიქლის და 2% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები.....	89
ნახაზი 18. ყვარლის ფიქლის და 3% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები.....	89
ნახაზი 19. ყვარლის ფიქლის და 4 ან 5% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევების აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები.....	90

შესავალი

ენერგომატარებლებზე ზრდის და მათი მარაგების კლებადობის ტენდენციები თანამედროვეობის უდიდეს პრობლემად არის მიჩნეული. აღნიშნული, თავის მხრივ, გარკვეული პრობლემების გადაწყვეტას მოითხოვს, რომელთაგან თავისი მნიშვნელობით გამოყოფენ შემოზღუდული კონსტრუქციების და თბური აგრეგატების სითბური იზოლაციის ეფექტურობის გაზრდას. უფრო კონკრეტულად, ისმება ამოცანა, რომელიც უშუალოდ უკავშირდება სითბური ენერჯის დანაკარგების შემცირებას - სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო შენობების კედლებიდან თბური აგრეგატების და სითბური ტრასების ზედაპირიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი სითბოს რაოდენობის მინიმიზაციას. მიიჩნევენ, რომ სპეციალური თბოსაიზოლაციო მასალების მიზნობრივი გამოყენებით შესაძლებელია 30% და მეტი რაოდენობითაც საწვავ-ენერგეტიკული რესურსების დაზოგვა, რაც მოითხოვს სპეციალური მაღალეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებას [1.2].

როგორც ცნობილია, თბოსაიზოლაციო მასალების ძირითადი დანიშნულებაა იმ სითბოს დანაკარგების შემცირება, რომელიც წარმოიქმნება მაღალტემპერატურული არედან უფრო დაბალტემპერატურულ არეში (ატმოსფერო), სითბური ნაკადის გადადინებით. ე.ი. თბოსაიზოლაციო მასალების დანიშნულებაა სითბოს ან სიცივის მიმართ შეღწევადობისაგან დაცვა. თბოსაიზოლაციო მასალების ძირითადი ნაწილი წარმოდგენილია ფორიანი მასალებით, რომელთაც აქვთ დაბალი სიმკვრივე (600 კგ/მ³-ზე ნაკლები) და თბოგამტარობა (არ აღემატება 0,18 ვტ (M.K.). აღნიშნული მახასიათებლების მატარებელი თბოსაიზოლაციო მასალა, როგორც წესი, მაღალი ფორიანობით გამოირჩევა, რადგან მათ ძირითად შემადგენელს აირი წარმოადგენს (აირების თბოგამტარობის კოეფიციენტი დაახლოებით ათჯერ ნაკლებია, ვიდრე თბოსაიზოლაციო მასალას აქვს) [3].

თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებით მიიღწევა არა მარტო სითბოს დაზოგვა, არამედ შესაძლებელი ხდება სამშენებლო კონსტრუქ-

ციების წონის შემცირებაც. მათი გამოყენების სფეროების მრავალფეროვნებას განსაზღვრავს მექანიკური სიმტკიცე, მაღალი ქიმიური და ბიომედეგობა, დაბალი ჰიდროსკოპიულობა და სხვ. ცნობილია, რომ ფორიანი მასალების მისაღებად გამოყენებული ნედლეულის სახეობიდან გამომდინარე, განასხვავებენ ორგანულ და არაორგანულ თბოსაიზოლაციო მასალებს, რომელთაგან თავისი სიმტკიცით, ტემპერატურამედეგობით, არაწვადობით გამოირჩევიან არაორგანული ბუნების ფორიანი მასალები. აქედან, ფორიან არაორგანულ მასალებს ფართოდ გამოიყენებენ ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა: სამშენებლო საქმე (შემსუბუქებული სამშენებლო კონსტრუქციები, თბო- და ბგერასაიზოლაციო ნაყარი და ხისტი საცალო ნაწარმი ფილების, ბლოკების და სხვ. ნაწარმის სახით) კერამიკური ნაწარმის მაგ., ცეცხლგამძლების წარმოებაში და ა.შ.

ამავე დროს პერსპექტიულად მიიჩნევენ მათ გამოყენებას ისეთ დარგებში, როგორცაა აგროტექნიკა, ნავტობგადამუშავება, მედიცინა და სხვ. [4, 5].

სანედლეულო ბაზის მხრივ, როდესაც განიხილება თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების საკითხი, საგულისხმო ხდება ის გარემოება, რომ არაორგანული ფორიანი მასალების მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა სახის ბუნებრივი და ტექნოგენური მასალიდან, რომლებიც სპეციფიური ტექნოლოგიებით გადამუშავდება. ფორიანი მასალის მიღება შესაძლებელია მინის ლეწიდან (ქაფმინა), მაგმური (პერლიტენი, პეხშტენები, ობრიდიანები) და ნალექი (მაგ., თიხები, თიხაფიქალები და სხვ.) ქანების გამოყენებით.

ჩამოთვლილი ნედლეულის აფუებულ მასალაში გადაყვანა მათი მომზადებით და შემდგომი თერმული აფუებით არის შესაძლებელი. ბუნებრივი მასალებიდან ფორიანი მასალის მიღებასთან დაკავშირებით ორ პირობას გამოყოფენ: მასალის ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობას და ნედლეულად აღებული მასალის ფიზიკურ მდგომარეობას და თვისებებს, რაც განსაზღვრავს გადამუშავებისათვის საჭირო ტექნოლოგიურ ოპერაციათა ნაირსახეობას და მათი წარმართვის სირთულეებს [6-10].

მიუხედავად ნედლეული მასალის სახეობისა და მიღების ტექნოლოგიისა, თბოსაიზოლაციო მასალების ძირითად განმასხვავებელ ნიშანს წარმოადგენს მისი ფორიანობა, ე.ი. მის მოცულობაში ფორების და სიცარიელების არსებობა. ფორებში მოთავსებული აირები, სითხეებთან და მყარ სხეულებთან შედარებით, ხასიათდებიან ბევრად უფრო თბოგამტარიანობით. ამიტომ სასურველად მიიჩნევენ ისეთი მასალების მიღება-გამოყენებას, რომლებშიც ფორიანობის ხარისხი მაღალია (არანაკლები 65%).

ფორიანი მასალების ნაირსახეობებიდან (აფუებული პერლიტები, ვერმიკულიტი და სხვა ქანები) განსაკუთრებულად გამოყოფენ ე.წ. კერამზიტს - უნივერსალურ მასალას, რომელიც გარკვეული შედგენილობის თიხებიდან და თიხაფიქალებიდან მიიღება. მიიჩნევენ, რომ კერამზიტი ერთ-ერთი საუკეთესო ნატურალური იაფი დამატებელია და აქედან, მასზე ძირითადი მისი შემკვეთი - სამშენებლო ბიზნესია, მაგრამ ცნობილია გამოყენების სხვა სფეროებიც (თბოსაიზოლაციო მასალები, მეხაღეობა და სხვ.). აღნიშნული მასალა ფართოდ იწარმოება და გამოიყენება მთელ მსოფლიოში, რადგან მათ სანედლეულო ბაზას ძირითადად თიხები წარმოადგენენ და იშვიათად გამოიყენებიან თიხაფიქალები, რომელთა გავრცელებულობა დედამიწაში ნაკლებია [12-14].

აფუებისადმი მიდრეკილი ბუნებრივი ქანები ფართოდაა გავრცელებული საქართველოში, მაგრამ მათგან პრაქტიკული გამოყენება მხოლოდ ფარავნის პერილიტებმა ჰპოვა - იწარმოება როგორც საბათქაშე, ასევე აგრარული დანიშნულების მასალები [15-17].

ნაკლებადაა შესწავლილი ადგილობრივი თიხოვანი ქანების აფუების საკითხი, მაგრამ გარკვეული მიღწევები იკვეთება კახეთის რეგიონში, მდ. დურუჯის ხეობაში არსებული ე.წ. ყვარლის ფიქლის სამრეწველო მიზნებში გამოყენებასთან მიმართებაში. ყვარლის ფიქლების გადამუშავების აუცილებლობას დამატებით განაპირობებს კიდევ ერთი უმნიშვნელოვანესი გარემოება, რომელიც მის წარმოშობას უკავშირდება - ის კლდოვანი მასივების დაშლისას წარმოქმნილი ნატანი ქანია, რაც მდ. დურუჯის

ხეობაში და ყვარლის რაიონში მწვავე ეკოლოგიური პრობლემების არსებობას განსაზღვრავს. ყვარლის ფიქლის, როგორც სანედლეულო ბაზის შესწავლით დადგინდა მისი გამოყენების პერსპექტიულა, კერძოდ ისეთ სამრეწველო სფეროებში, როგორცაა: სამშენებლო საქმე (ცემენტის დაფქვის დანამატად ან ბეტონების შემავსებლად), მინის და მინანქრის წარმოების სანედლეულო ბაზა, ქვის სხმის წარმოებაში, აფუებული მასალების მიღებისას და სხვ. [18-20].

არაერთი სამეცნიერო კვლევით დადგინდა, რომ ტრადიციული ხერხის - თერმოაფუების გამოყენებით, შესაძლებელია ყვარლის ფიქლიდან აფუებული მასალების მიღება. ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმით მიღებული იქნა სხვადასხვა ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივის მქონე ფორიანი მასალები (350-650 კმ/მ³), რომლებიც გამოირჩევიან დახურულფორებიანი სტრუქტურით, მაღალი მექანიკური სიმტკიცით კუმშვაზე (15 მპა-მდე), წყალმედევობით ($K_{\text{გარბ}} \geq 0,75$) და ა. შ. ასე შემუშავდა რეკომენდაციები ყვარლის ფიქლიდან თერმული აფუებით მიღებულ მასალათა გამოყენების შესაძლო სფეროებთან მიმართებაში - მათი გამოყენება რეკომენდირებულია ნაყარი თბოსაიზოლაციო მასალების სახით და შემსუბუქებული ბეტონის ნაწარმის მისაღებად. აღსანიშნავია, რომ შემუშავდა ყვარლის ფიქლიდან ფორიანი მასალის მიღების ტექნოლოგიური სქემა და მას საფუძვლად დაედო ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავების პროცესი, რომელშიც გამოირიცხა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ბუნებრივი ყვარლის ფიქლის მარცვკლების მონაწილეობა, რომლებიც ხელს უშლიან მსხვილფრაქციული ნედლეულის აფუების სრულყოფილად ჩატარებას [21-23].

აღნიშნულის გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ განხორციელდა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის შესწავლა და ფორიანი მასალების მიღების ტექნოლოგიათა დადგენა, კერძოდ ორგანული ბუნების დანამატების მიზნობრივი გამოყენებით. პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, შესწავლილ იქნა წმინდაფრაქციული აფუ-

ბული ყვარლის ფიქლიდან შემსრულებელი სამშენებლო მასალების მიღების შესაძლებლობა [24-26].

ექსპერიმენტული კვლევით დადგინდა წვრილ ფრაქციული (5 მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლები) ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავებით და აღნიშნულ პროცესზე ორგანული ტექნოლოგიური დანამატების (ამორტიზირებული სამანქანო ზეთი, ქვანახშირის წვრილმანის, ხის ნახერხის) გავლენათა თავისევევრებით განისაზღვრა მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე, წყალშთანქმა, სიმტკიცე კუმშვაზე და სხვ.

ასევე დადგინდა ყვარლის ფიქლის, წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუებით მიღებული ფორიანი მასალის ქვიშის და ღორღის გამოყენებით შემსუბუქებული ბეტონების მიღების შესაძლებლობა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს წმინდა ფრაქციული (ნაყარი) ყვარლის ფიქლის გამოყენებით აფუებული მასალის მიღება, მათი აფუების პროცესზე ტექნოგენური დანამატების სახის და რაოდენობის, ასევე თერმული დამუშავების პარამეტრების გავლენის დადგენა;

თერმული აფუებით მიღებული ფორიანი მასალების სამშენებლო საქმეში გამოყენების პერსპექტიულობის განსაზღვრა.

კვლევის ამოცანაა:

- შესწავლილ იქნას წმინდაფრაქციული, ნაყარის სახით გამოყოფილი, ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე სხვადასხვა სახის ტექნოგენური ორგანული ბუნების დანამატების გავლენა;
- შეირჩეს წმინდაფრაქციული (5 მმ-მდე ზომის მარცვლები) ყვარლის ფიქლის აფუების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები, დანამატების რაოდენობის და თერმული დამუშავების რეჟიმების განსაზღვრით;
- დადგინეს ტექნოგენური ტიპის დანამატების გავლენა მიღებულ ფორიან მასალათა საექსპლუატაციო თვისებებზე;

- განისაზღვროს წმინდაფრაქციული ყვარლის ფიქლიდან მიღებული ფორიანი მასალებიდან შემსუბუქებული ბეტონების მიღების შესაძლებლობა.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ყვარლის ფიქლიდან აფუებული მასალის მიღების ტექნოლოგიური პროცესიდან ნაყარის სახით გამოყოფილი ნედლეულის წმინდა ფრაქციები (მარცვების ზომით ≤ 5 მმ).

კვლევის მეთოდები. წმინდაფრაქციული ყვარლის ფიქლის თერმული აფუებით მიღებული ფორიანი მასალების შესწავლა განხორციელდა არაორგანულ ფორიან თბოსაიზოლაციო და აკუსტიკურ მასალათა შესწავლაში მიღებული ტექნიკური ანალიზის და სპეციალურ ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებათა შესწავლის მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. ყვარლის ფიქლის წვრილფრაქციული ნაყარის აფუების პროცესზე თერმული დამუშავების პირობების (რეჟიმების) და დანამატების გავლენის შესწავლა. ტექნოგენური ორგანული დანამატების (ამორტიზირებული სამანქანო ზეთი, ხის ნახერხი, ქვანახშირის წვრილმანი) სახის და რაოდენობის გავლენის შესწავლა წვრილფრაქციული ფიქლის აფუების ხარისხზე. ფორიანი მასალების მიღების პირობებისა და თვისებების ურთიერთდამოკიდებულებათა დადგენა, იმ ოპტიმალური შედგენილობის ნარევების დადგენა, რომლებიც ფიქლის აფუების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფენ.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების და ორგანული ბუნების (სამი სახის ტექნოგენური დანამატის რაოდენობის შერჩევით ოპტიმალური შედგენილობის ისეთი ნარევების მიღება, რომელთა თერმული დამუშავებისას მაღალფორიანი მასალების მიღებას უზრუნველყოფენ. ჩატარებული კვლევით დადგინდა ფორიანი მასალების ერთსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმით და მიღებული მასალების გამოყენებით შემსუბუქებული ბეტონების მიღების შესაძლებლობა.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ფორიან მასალებს, განსაკუთრებით მათ არაორგანულ სახეობას, მრავალი გამოყენების სფერო გააჩნიათ. ასევე მრავალფეროვანია მათი ასორტიმენტი და ის სანედლეულო ბაზა, რომელიც გამოყენებული იქნა ასეთი მასალების მისაღებად. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს, ხშირ შემთხვევაში, უნიკალური თვისებების მატარებელი ფორიანი მასალის მიღების და ტექნოგენური პროცესის წარმართვის ეკონომიკური საკითხების განსაზღვრაში.

არაორგანული ფორიანი მასალების მისაღებად გამოყენებული ნედლეულის ორი სახეობაა ცნობილი - ბუნებრივი ქანები და ტექნოგენური ნედლეული. ტექნოგენური ნედლეულიდან ფართო გამოყენება ჰპოვა მინის ლეწმა (ქაფმინის მიღება) და წიდებმა (მინერალური ბამბა). რაც შეეხება ბუნებრივ ქანებს - მათ გამოყენებას, ფორიანი მასალების მიღების საქმეში, განსაზღვრავს რიგი მთის ქანის და მინერალის მიდრეკილება აფუებისადმი. აფუებული მასალების მთის ქანებიდან და მინერალებიდან მიღება, როგორც წესი, ხდება მათი თერმული და მუშავების ხარჯზე. ასე მაგალითად, კარგად აფუვდება ისეთი მინისებრი ან კრისტალური აღნაგობის წყალშემცველი ქანები და მინერალები, როგორცაა პერლიტები, ობრიდიანები და ქარსები. მსოფლიოს არაერთ ქვეყანაში ხელოვნურად აფუებული მასალები პრაქტიკულად მიიღება, აგრეთვე, წყლისა და რკინის ოქსიდების შემცველი თიხებიდან და თიხიანი ფიქალებიდან (თიხაფიქალები).

ცალკეული ნედლეულის ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობისა და მისი ფიზიკური მდგომარეობის გათვალისწინებით შერჩეული აფუების ტექნოლოგიებით მიღებულია განსხვავებული აღნაგობის და ხშირად თვისებათა კომპლექსით გამორჩეული ფორიანი მასალები, რომლებიც მთელ რიგ შემთხვევებში შეუცვლელია სამშენებლო, თბოტექნიკურ, აგრარულ, სამედიცინო და სხვა სფეროებში.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოში მოიპოვება არაერთი ისეთი მასალა, რომელიც გამოიყენება ფორიანი მასალების მისაღებად. ესენია ფარავნის პერლიტები და ობსიდიანები. ფიქლებთან მიმართებაში უნდა აღინიშნოს, რომ ბოლო წლებში აქტიურად განიხილება კახეთის ყვარლის რეგიონში, კერძოდ, მდ. დურუჯის ხეობაში მძლავრი მარაგებით წარმოდგენილი ე.წ. ყვარლის ფიქლის საკითხი, კერძოდ, მათი მიზნობრივი სამრეწველო გამოყენების თვალსაზრისით. ამ საკითხის მეორე, შეიძლება ითქვას, უმნიშვნელოვანეს მხარედ ის ეკოლოგიური პრობლემა შეიძლება იქნას მიჩნეული, რომელიც აღნიშნული ფიქლის მიერ წარმოიქმნება ყვარლის რაიონში. ამავე დროს, ყვარლის ფიქლის სამრეწველო დარგებში გამოყენება მოითხოვს მის მიზნობრივ შესწავლას და ამ მიმართულებით რამდენიმე მნიშვნელოვანი სამუშაო იქნა ჩატარებული და მათ შორის საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში.

აღნიშნული სამუშაოების საფუძველზე განისაზღვრა ყვარლის ფიქლის გამოყენების შესაძლო სფეროები და მისი აფუებისადმი მიდრეკილება. თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალებისათვის დადგინდა მიღების ტექნოლოგია, განისაზღვრა მახასიათებელი თვისებები და გამოყენების შესაძლო სფეროები. ტექნოლოგიური საკითხები შესწავლისას გამოიკვეთა მნიშვნელოვანი გარემოება. თერმული აფუების პროცესიდან წვრილმარცვლოვანი ნედლეულის ამოღების აუცილებლობა.

აქედან ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა წვრილმარცვლოვანი ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე ორგანული ნაერთების გავლენის დადგენა, ხოლო მიღებული ფორიანი მასალებისათვის თვისებათა შესწავლა. გამოყენების პერსპექტიულობის განსაზღვრა, მათგან სამშენებლო მასალების და ნაკეთობათა მიღების თვალსაზრისით.

აღნიშნულ საკითხთა გადაწყვეტა მოითხოვდა ლიტერატურაში არსებული მონაცემების შესწავლას და ანალიზს.

1.1. ბუნებრივი და ხელოვნური ფორიანი მასალები

ფორიანი მასალები გამოირჩევიან დაბალი მოცულობითი სიმკვრივით და თბოგამტარობით, ხშირ შემთხვევაში სამკარისი სიმტკიცით და ქიმიური მდგრადობით და სხვ. აღნიშნული ფაქტორები მათი სამრეწველო დანიშნულებით გამოყენების კარგ საწინდარს ქმნიან, რაც ბევრი სახეობის ბუნებრივ და ხელოვნურ მასალათა მიმართებაში პრაქტიკულად განხორციელდა [2, 3, 27].

პრაქტიკული გამოყენების მხრივ აღსანიშნავია ფორიანი მასალებიდან როგორც ცალკეული ნაწარმის მიღება (მაგ., სამშენებლო ბლოკები, შენობის გადახურვის და მოპირკეთების დეკორატიული ელემენტები და სხვ.), ასევე მათი შემავსებლად მიზნობრივი გამოყენება (ძირითადად შემსუბუქებელი ბეტონები ან კერამიკული ნაწარმი). ხელოვნური ფორიანი მასალები გამოირჩევიან გამოყენების მრავალფეროვნებით, რაც მათი სტრუქტურათა მრავალფეროვნებით და თვისებათა შერჩევა-რეგულირებით არის განპირობებული.

ბუნებრივი ფორიანი მასალები ორ ძირითად ჯგუფად იყოფა - განასხვავებენ ვულკანური და დანალექიან წარმოშობის მასალებს. ვულკანური წარმოშობისაა პემზა, ტუფი და ვულკანური წიდები ან მინა. დანალექი წარმოშობის ჯგუფში გაერთიანებულია როგორც ფორიანი კარბონატული (მაგ., ნიჟარისებრი კირქვები), ასევე რელიკატური ქანები (მაგ., კაჟმიწოვანი სპონგულიტები და სხვ.). ბუნებრივ ფორიან მასალათა ყველა ძირითადი სახეობა საქართველოს წიაღისეულში არის წარმოდგენილი [28].

პემზა, რომელიც ბუნებრივად წარმოიქმნა მინის ლავის აფუებით, ხასიათდება წმინდა - ან მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურით, ხოლო ფორების სტრუქტურაში მოწყობის მიხედვით - ბოჭკოვანი, უჯრედოვანი, ღრუბლისებრი და სხვა სახის. პემზის ფორიანობა 60-75%, წყალმანთქმა კი 60%-მდე შეიძლება იყოს; სიმტკიცე კუმშვაზე, როგორც წესი, 30 კგმ/სმ²-ზე მეტია.

ვულკანური შლაკები შეიცავენ ვულკანურ მინას, რომელშიც SiO_2 -ის შემცველობა 50-60 მას %-ია. მათი მოცულობითი წონა (ფრაქციულობიდან გამომდინარე) 400-დან 1000 კგ/მ³, წყალშთანთქმა 20-30 მას.%, ხოლო სიმტკიცე კუმშვაზე 300 კგ/სმ² შეიძლება შეადგენდეს.

ვულკანური ტუფები, რომლებიც ქანების გაფრხვიერებული ნაწილაკების შეცემენტებით წარმოიშვა, მჟავა ხასიათის სილიკატურ მასალას წარმოადგენენ (SiO_2 -ის შემცველობა 61-67 მას.%). მათი ღორღის ფრაქციების მოცულობითი მასა 600-დან 1100 კგ/სმ³ შეიძლება იყოს და ისინი მაღალი წყალმედევობით ხასიათდებიან (გარბილების კოეფიციენტი 0,87-ზე მეტია).

კარბონატული ფოროვანი ქანები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ფორების შემცველობით (20-დან 60%-მდე შეიძლება იყოს) და მათი ზომებით. აქედან, მათ ახასიათებთ 5-30%-იანი წყალშთანთქმა, ხშირად დაბალი წყალმედევობა (გარბილების კოეფიციენტი 0,47-დან) და ასევე მაღალი მოცულობითი წონა, რომელიც 750-დან 1200 კგ/მ³ შეიძლება იყოს; მათი სიმტკიცე კუმშვაზე 50-დან 150-მდე კგ/სმ² ზღვრებში მერყეობს.

ხელოვნური არაორგანული მასალების სახეობა მრავალფეროვანია და ასევე მრავალფეროვანია ის მიდგომები, რომლებიც მათ კლასიფიკაციაში გამოიყენება: მათ მისაღებად გამოყენებული ნედლეული, თვით მიღებული ფოროვანი მასალის სტრუქტურული აღნაგობა, მოცულობითი წონა (მასა), გარეგანი სახე, გამოყენების სფერო და სხვ. [6-9].

ნედლეულის სახეს განსაზღვრავს ფოროვანი მასალის სახეობა, მაგალითად, მაღალი ფორიანობით გამორჩეული ნაწარმის (აფუებული პერლიტი, ვერმიკულიტი, კერამზიტი და სხვ.) მისაღებად გამოიყენება ისეთი ჰიდრატირებული მთის ქანები (ვულკანური წარმოშობის მინსა, ქარსი, თიხა, ფიქალი და სხვ.), რომელთაც უნარი შესწევთ გადავიდნენ პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში (გახურების ხარჯზე) და აფუვდნენ თანმხლები აირწარმოქმნის პროცესის ხარჯზე. განსხვავებული სანედლეულო ბაზაა საჭირო ხელოვნური მინერალური ბოჭკოს (ძირითადად მიიღება ბრძმედის და სხვა სახის მეტალურგიული წიდებიდან, ბაზალტი

და ა.შ.) და ქაფმინის (ტექნოგენური მინის ლეწი, ვულკანური მინა, ადვილადდნობადი მთის ქანები) მისაღებად.

სანედლეულო ბაზის მრავალფეროვნება და მის საფუძველზე მიღებული მასალების საექსპლუატაციო თვისებების ფართო რეგულირების შესაძლებლობა, არაორგანული ფოროვანი მასალების პრაქტიკულად ნებისმიერ პირობებში ექსპლუატაციის საშუალებას იძლევა [9, 12, 29-31].

განსხვავებული სანედლეულო ბაზაა საჭირო ასევე ფორიანი, მაგრამ ბიოსამედიცინო და აგრარული დანიშნულების ფორიანი მასალების მისაღებად, რომლებიც თანამედროვეობის მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდნენ [15, 32-35].

სტრუქტურული მოწყობის მიხედვით არაორგანულ ფორიან მასალებში განასხვავებენ:

- უჯრედოვანი აღნაგობის მასალებს, რომლებიც გამოირჩევიან ფორების ერთგვაროვნებით და ამასთან მათი თანაბარზომიერი განაწილებით მთელ მოცულობაში. როგორც წესი, უჯრედოვანი აღნაგობა ახასიათებს დახურულფორიან მასალებს, მაგ., ქაფმინას ან კერამზიტს (თიხის აფუებით მიღებული ფოროვანი მასალა);
- სტრუქტურის მარცვლოვანი აღნაგობა ძირითადად დამახასიათებელია ფხვიერი ფორიანი მასალებისათვის და ამ შემთხვევაში მათი ფორიანობის ხარისხი, ძირითადად მასალის გრანულომეტრიული შედგენილობით (მასში წარმოდგენილი მარცვლის ზომით) განისაზღვრება; მარცვლოვანი აღნაგობის კლასიკურ წარმომადგენლად მიიჩნევენ აფუებულ პერლიტს;
- ბოჭკოვანი აღნაგობით გამოირჩევიან მინერალური და მინის ბამბა და სხვა მასალები, რომელთა ცალკეული ელემენტები (ინდივიდუალური ბოჭკო) არ წარმოადგენს ფოროვან მასალას, მაგრამ მათი ერთობლიობა უკვე ფოროვან მასალად წარმოგვიდგება;

- ფირფიტოვანი მასალა მხოლოდ აფუებული ქარსის შემთხვევაში მიიღება და ქერცლის ფორმის - ფირფიტოვან ელემენტთა ნაკრებს წარმოადგენს.

ცნობილია, რომ ზოგიერთი მთის ქანი და მინერალები, მათთვის დაბალი ტემპერატურული რეჟიმით დამუშავებისას, ავლენენ მიდრეკილებას აფუებისადმი ე. ი. მოცულობით ზრდისადმი. დადგენილია, რომ ბუნებრივი ნედლეულის აფუების უნარის განმსაზღვრელ ფაქტორთა შორის უმნიშვნელოვანესია:

- ასაფუებლად აღებული ბუნებრივი ნედლეულის (ქანის) როგორც ქიმიური, ასევე მინერალოგიური შედგენილობა;
- ნედლეულის თერმული დამუშავების პირობები: აფუების ტემპერატურული ინტერვალი, თერმოდამუშავებისას ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე და აფუების პროცესის სრული ციკლის ხანგრძლივობა (მათ შორის აფუების ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო);
- ასაფუებლად აღებული ბუნებრივი ქანის მარცვლების ზომა (გრანულომეტრია), რომელსაც შეუძლია 2-3-ჯერ შეცვალოს აფუების ხარისხი და შესაბამისად ნაყარი მოცულობითი წონის შეცვლა;
- მასალის აფუების შესაძლებლობას გამოხატავენ აფუების კოეფიციენტით ან მოცულობითი წონით (მასით). ეს უკანასკნელი ფოროვანი მასალის მარკის განმსაზღვრელ პარამეტრად მიიჩნევა.

მასალის ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობიდან, ან საბოლოო პროდუქტის სახეობიდან გამომდინარე, გამოიყენებენ აფუების სხვადასხვა ხერხს ან მათ კომბინირებას, რაც ყველა სახის არაორგანული ფორიანი მასალის მიღების შესაძლებლობას იძლევა. აფუებული მასალების ან ნაკეთობათა მიღების ხერხების ძირითადი არსი შემდეგია:

ა) **აირწარმოქმნის ხერხი** - როდესაც ასაფუებელ მასალას ემატება სპეციალური აირწარმოქმნელი (უჯრედოვანი ბეტონები და ქაფმინა);

ბ) ქაფწარმოქმნის (აქაფების) ხერხი - ქაფწარმოქმნელის შემცველ და აქაფებულ ხსნარს ემატება ძირითადი მასალის მექანიკურად დისპერსირებული ფხვნილი, ხოლო მიღებული შეწონილი მასა ფიქსირდება შრობით;

გ) ჭარბი წყლით გაჯერების ხერხი - საწყის მყარ მასალას ემატება ჭარბი ოდენობით წყალი, ხოლო მომდევნო ეტაპზე (დაყალიბებული ნაწარმიდან) სხვადასხვა გზით (წყლის აორთქლება ან გამოწნეხა) ხდება წყლის განდევნა და ფოროვანი სტრუქტურის შენარჩუნება;

დ) დანამატების ამოწვის ხერხი - გამოიყენება მხოლოდ კერამიკული მასალის მიღებისას. პროცესის არსის განმსაზღვრელი ხდება იმ სპეციალურად შეტანილი დანამატების ამოწვა, რომელიც კერამიკულ მასებს (ცეცხლგამძლეები, ტექნიკური კერამიკა და ა.შ.) ემატება შემკვრელად;

ე) კარბონატული ნედლეულის ქიმიური გადამუშავება გამოიყენება სპეციალური ნაწარმის მისაღებად, კერძოდ ფოროვანი კაფსულების (სამედიცინო დანიშნულების) წარმოებაში;

ვ) მთის ქანების და მინერალების აფუება - ეფუძნება მთელი რიგი ბუნებრივი მასალის უნარზე მოცულობითი ზრდა განიცადოს მათი მაალტემპერატურაზე ჩქარი გახურებისას, როდესაც ხდება წყლის ორთქლის და აირების გამოყოფა და ფოროვანი სტრუქტურის მქონე მასალის წარმოქმნა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ მიერ დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად შერჩეულ იქნა ხერხი ვ) და დ), მათი ურთიერთშერწყმით და ნაწილობრივი სახეცვლილებით, რაც ექსპერიმენტის აღწერისას იქნება წარმოდგენილი.

1.2. ტრადიციული ფოროვანი მასალები, მათი მიღება და გამოყენება

ფოროვანი მასალების მისაღებად გამოყენებული სანედლეულო ბაზის მიმართებაში მნიშვნელოვნად მიიჩნევენ იმ ცნობილ გარემოებებს, რომ არაორგანული ფოროვანი მასალის მიღება შესაძლებელია მრავალი სახის ნედლეულიდან. მაგრამ მათი მიზნობრივი გამოყენების თვალსაზრისით, მნიშვნელობას იძენს ორი ძირითადი პირობა. მათგან პირველი არის ის, რომ

სასურველი თვისებების მატარებელი პროდუქტის მისაღებად საჭირო ხდება გარკვეული ქიმიური და მინერალური შედგენილობის ნედლეული მასალის მოძიება-გამოყენება. მეორე პირობას, რომელიც უშუალოდ ფორიანი მასალის ეკონომიურობას განსაზღვრავს, წარმოადგენენ: ნედლეულის გადამუშავება-მომზადებასთან დაკავშირებული ტექნოლოგიური ოპერაციები (მათი საჭირო ნაირსახეობა) და მომზადებასთან დაკავშირებული სირთულეები (მასალის ფიზიკური მდგომარეობა და მისი მექანიკური თვისებები).

მოყვანილ მოთხოვნათა შეჯერებით უნდა გამოიყოს ფოროვან არაორგანულ მასალათა ის ნაირსახეობა, რომელთა წარმოება-გამოყენებას პრაქტიკულად აქვს ადგილი. ასეთი მასალებიდან საგულისხმოა ქარსიდან და პერლიტური ქანებიდან მიღებული მასალები. აქვე აღსანიშნავია, რომ პერლიტური ქანები საქართველოშიც მოიპოვება, რომელთა აფუებისა და გამოყენების საკითხები მრავალ წყაროში არის მოყვანილი [12, 15, 17, 28].

ქარსისებრი მასალა - ვერმიკულიტი წარმოადგენს იგივე დასახელების მინერალის თერმული აფუებით მიღებულ მასალას (8, 9, 28], ბუნებრივი ვერმიკულიტი - რთული ქიმიური შედგენილობის ქარსისებრ მაღალჰიდრატირებულ ალუმინსილიკატს წარმოადგენს. მასში დიდი ოდენობითაა წარმოდგენილი MgO და Fe_2O_3 (შესაბამიად, 24-26 და 5-7 მას.%), მაგრამ მცირე ოდენობით - ტუტე ოქსიდები (R_2O -ს შემადგენლობა 2 მას. %-ს არ აღემატება), რაც აიხსნება ქარსის კრისტალურ გისოსში ტუტეების წყლით ჩანაცვლებით [44-46].

სხვა სახის მინერალებისაგან განსხვავებით, ქარსული ვერმიკულიტის მნიშვნელოვან თვისებას წარმოადგენს მისი უნარი (ტემპერატურის ზეგავლენით) გაიპოს ცალკეულ ქარსის ფირფიტებად და ქერცლის მაგვარი მასალა წარმოქმნან. ვერმიკულიტის მარცვლების გაპობას (გახლეჩვას) თან ახლავს ძლიერი აფუება და ამის მიზეზი მინერალში არსებული წლის ორთქლის პრაქტიკულად „ფეთქებადი“ გამოყოფა მიიჩნევა. წყლის ორთქლის მაღალი შიდა წნევა იწვევს ქარსისებრი ფირფიტოვანი შრეების

ურთიერთგანზიდვას და ამ გზით მიღებული მასალა მოცულობით 15-20-ჯერ აღემატება საწყისი ნედლეულის მოცულობას. თერმული დამუშავებისას მიღებული ვერმიკულიტის ქესცლისებრი ფირფიტები ხასიათდებიან გარკვეული პლასტიურობით (დრეკადობით), ამიტომ ხშირად აფუებულ ვერმიკულიტთან მიმართებაში (მისი სტრუქტურის დახასიათებისას) გამოიყენებენ ტერმინს ფირფიტოვანი ფორიანობა [7, 8].

მასალა ვერმიკულიტი შესაბამისი ქარსის 1000-1100°C თერმული დამუშავებით მიიღება. მიღებული პროდუქტის მოცულობით წონას ძირითადად განსაზღვრავს ასაფუებლად აღებული ნედლეულის მარცვლების ზომა - რაც უფრო მცირეა მათი ზომა, მით უფრო დაბალია ნაყარი წონა: 0,15-დან 15 მმ-მდე ზომის მარცვლებისათვის მისი მნიშვნელობა 80-დან 200 კგ/მ³ შეიძლება შეადგენდეს. აღსანიშნავია, რომ ვერმიკულიტის აფუებული მარცვლები დეფორმაციისადმი მიდრეკილებას იჩენენ და ამ მიზეზით ისინი დატკეპნისადმი მიდრეკილნი არიან, მაგრამ თბოსაიზოლაციო მყარ კონსტრუქციებში ისინი ჩაჯდომას არ განიცდიან, აფუებული ვერმიკულიტი მიეკუთვნება საუკეთესო თბოსაიზოლაციო მასალათა ნაირსახეობას, რადგან გარდა დაბალი თბოგამტარობისა, ისინი გამოირჩევიან განსაკუთრებული სიმსუბუქით და მაღალი (1000 °C-მდე) ტემპერატურამდეგობით.

ნედლი ვერმიკულიტის, როგორც აფუებული ვერმიკულიტის მისაღები ნედლეულის მიმართ მნიშვნელოვანი პრობლემური საკითხი არსებობს - დედამიწის ქერქში ნაკლებად გვხვდება მინერალ ვერმიკულიტით მდიდარი საბადოები, ცნობილია, რომ საუკეთესო ხარისხის ვერმიკულიტშემცველი მადანი 30%-ზე მეტი რაოდენობით არ შეიცავს სასარგებლო მინერალს. აღნიშნული მოითხოვს ვერმიკულიტური ნედლეულის ღრმა გამდიდრებას, რის შემდეგ უკეთეს შემთხვევაში მიიღება 85-90%-იანი (ე.წ. „სუფთა“) ან 50-60%-იანი (ე.წ. „ღარიბი“) მინერალ ვერმიკულიტის შემცველი კონცენტრატები.

კონცენტრატში ვერმიკულიტის შემცველობას ის მნიშვნელობა აქვს, რომ მინერალ ვერმიკულიტის რაოდენობა აფუებული პროდუქტის

ძირითადი თვისებების (თბოგამტარობა, მოცულობითი მასა და სხვ.) განმსაზღვრელი ფაქტორია.

აფუებული პერლიტი მიიღება პერლიტური ქანებიდან, რომლებიც ვულკანების ამონაფრქვევი მინებისაგან კრისტალური ბუნების მასალას წარმოადგენენ [15, 49].

პერლიტი გამოირჩევა განსაკუთრებული სტრუქტურით, ხასიათდება ბზარებად გახლეჩის უნარით (თერმული დამუშავების შემთხვევაში და წარმოქმნის მარგალიტისებურ ბურთულებს. აფუებული პერლიტის მისაღებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მჟავა ხასიათების წყალშემცველი მინისებრი ვულკანური ქანები: ობსიდიანი, პერლიტი და პეხშტეინი, რომლებიც მათში არსებული წყლის ოდენობით განსხვავდებიან [50-52].

ვულკანური წარმოშობის ნედლეულში მყოფი წყალი, სწრაფი გახურების შემთხვევაში იწვევს მარცვლების მსხვევრას (დასკდომას), რის შედეგად მიიღება არადახურულფორიანი მსუბუქი მასალა, რომლის მოცულობითი წონა 50-250 კგ/მ³-ს შეადგენს.

აღნიშნულის შეჯერებით შეიძლება გამოიყოს ფორიანი არაორგანულ მასალათა ის სახეობა, რომელთა წარმოება რეალურია საქართველოში, არსებული საწარმოების ბაზიდან გამომდინარე. ასეთ მასალებს შეიძლება მივაკუთვნოთ ქაფმინა და სხვადასხვა. დღეისათვის შესწავლილი და ბუნებრივი ნედლეულის საფუძველზე მიღებული ფორიანი მასალები [8-10].

ტრადიციულ ნედლეულთა მიმართებაში დადგენილია, რომ საქართველოში არსებობს ვულკანური ქანების ისეთი საბადოები, როგორცაა: ფარავნის (პერლიტი და ობსიდიანი), ახალციხის და ასპიძის (პეხშტეინები), რომელთაგან ყველაზე პერსპექტიულად მიიჩნევენ ფარავნის საბადოს, რომლის მარაგები (ყველა სახის კატეგორიის) ძალზე მძლავრია და დაახლოებით 100 მლნ მ³-ს შეადგენს, ხოლო ქანების დამუშავება შეიძლება ღია კარიერული წესით.

ცხრილი 1. ფარავნის საბადოს ობსიდიანის და პერლიტის ქიმიური შედგენილობა

შედგენილობა	ობსიდიანი	პერლიტი
SiO ₂	73,3-76,0	70,0-73,0
Al ₂ O ₃	12,5-15,6	12,1-14,3
Fe ₂ O ₃	0,9-3,0	1,0-3,0
CaO	1,1-2,0	1,1-2,1
MgO	კვალი - 1,5	კვალი - 1,7
SO ₃	0,1-0,7	0,6-3,9
R ₂ O	06,0-8,5	4,0-8,0
ხ.დ.	0,1-0,5	3,0-5,0

ქიმიური შედგენილობით ფარავნის პერლიტები და ობსიდიანები მიეკუთვნებიან მჟავე ვულკანურ ქანებს. მათ შორის განსხვავება ქიმიურ შემადგენლობაში და წყალშემცველობაში იკვეთება (ცხრილი 1). ცნობილია, აგრეთვე, რომ განსხვავდება მათგან ფოროვანი მასალის მიღების პირობები და მახასიათებლები:

ფარავნის პერლიტის 800-900°C-ზე აფუებით მიიღება დაბალი, ხოლო ობსიდიანიდან 1100-1200°C-ზე აფუებით - მაღალი მოცულობითი მასის (ნაყარი წონა) მასალა (შესაბამისად, 50-2550 და 200-400 კგ/მ³). ამ ორ მასალას შორის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი განსხვავება არსებობს. მათი მახასიათებელი თვისებები საგრძნობლად განსხვავდებიან (ცხრილი 2).

ცხრილი 2. ფარავნის პერლიტის და ობსიდიანის აფუებით მიღებული მასალების მახასიათებელი თვისებები

№	მაჩვენებლის დასახელება	აფუებული პერლიტის ქვიშა	აფუებული პერლიტის ღორღი	აფუებული ობსიდიანის ღორღი
1	მოცულობითი მასა, კგ/მ ³	50-150	150-400	200-400
2	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, კგ/სმ ²	-	5-15	10-25
3	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, კჯ/მ.წ. გრად	0,2-0,2	0,2-0,3	-
4	ყინვაგამძლეობა (ციკლი)	-	15-ზე მეტი	15-ზე მეტი
5	წყლის შთანთქმა, %	-		0,6-მდე

ცხრილში მოყვანილი შედეგების შედარებითი ანალიზიდან ჩანს, რომ ფარავნის საბადოსთან მიმართებაში პერსპექტიულ ნედლეულად შეიძლება ჩაითვალოს პერლიტი.

აფუებული მასალების მიღების ტექნოლოგია, კერძოდ, პერლიტის მაგალითზე, ორ ძირითად ეტაპს - მსხვრევას და აფუებას მოიცავს. პირველადი მსხვრევისათვის გამოიყენება ყბებიანი ან ჩაქუჩებიანი მსხვრევანა (ქანის ფიზიკური მახასიათებლებიდან გამომდინარე), ხოლო მეორადი მსხვრევისათვის - ხშირად ლილვებიანი მსხვრევანა, მაგრამ მიზანშეწონილია კომბინირებული მსხვრევანის გამოყენება. ღუმელებთან მიმართებაში (ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის - აფუების ჩასატარებლად) ცნობილია რიგი პრაქტიკული რეკომენდაცია, რაც აფუების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს (ცხრილი 3).

ცხრილი 3. აფუებული პერლიტის მისაღებად გამოყენებული ღუმელების მახასიათებლები

მაჩვენებლები	მზრუნავი ღუმელი	ვერტიკალური ღუმელი
წარმადობა, კგ/სთ	1300-მდე	1600-მდე
ნედლეულის ფრაქციულობა	0 – 10	0,5-,დე
საწვავის ხარჯი, მ3/სთ (ბუნებრივი აირი)	150-მდე	135-160
თერმული დამუშავების ტემპერატურა, °C	1100-1200	1000-1150
ლიმელის ზომები, მ		
- სიგრძე	8,0	7,7
- შიდა დიამეტრი	0,77	0,6

აფუებული პერლიტის საფუძველზე მიღებული ნაწარმი გამოირჩევა თავისი მრავალფეროვნებით და მათ სახეობათა შორის წამყვანია: თბოსაიზოლაციო მასალები და მსუბუქი თბოსაიზოლაციო ბეტონები. მათ გარდა უნდა აღინიშნოს აფუებული პერლიტის და ვერმიკულიტის გამოყენების კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი და პერსპექტიული სფერო - აგროინდუსტრია, სადაც ე.წ. აგროპერლიტზე ყოველწლიური მზარდი მოთხოვნა ფიქსირდება [51, 52].

აფუებულ ვერმიკულიტსა და პერლიტის გამოყენების სფეროებში პრაქტიკულად სრული თანხვედრა ფიქსირდება, მაგრამ უპირატესობა მაინც ვერმიკულიტს შეიძლება მივანიჭოთ, რადგან მას რიგი უკეთესი საექსპლუატაციო თვისება გააჩნია: ვერმიკულიტი უკეთეს თბოსაიზოლაციო თვისებებს და ტემპერატურამდეგობას ავლენს.

1.3. ფორიანი მასალები აფუებული თიხების და თიხაფიქლების საფუძველზე

თიხებისა და თიხაფიქლების თერმული დამუშავებით მიიღება აფუებული მასალა - კერამიტი. კერამიტი წარმოადგენს უჯრედოვანი აგებულების ფორიან მსუბუქ მასალას, რომელიც მიიღება ადვილად-დნობადი თიხოვანი ქანების სწრაფი გამოწვით, რაც მათთვის დადგენილ ე.წ. აფუების ტემპერატურაზე განხორციელდება:

კერამიტი, წვრილნატეხოვანი მასალის სახით, ძირითადად სითბოსაიზოლაციო (მათ შორის საცალო ნაკეთობის ან ნაყარის სახით), კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციული მსუბუქი ბეტონების შემსვსებლად გამოიყენება. კერამიტი შექმნილი იწარმოება და გამოიყენება ხრეშის ან ღორღის სახით, რომელთაგან ღორღი წარმოადგენილია ოვალური ფორმის და ზედაპირზე თხელი ქერქის მქონე მარცვლებით, ხოლო ღორღი - მასალის მსხვილი ნატეხები მსხვრევით მიიღება. ეს უკანასკნელი, სიმტკიცის მაჩვენებლებით, ადგილს უთმობს კერამიტიულ ხრეშს. მათ გარდა ცნობილია სხვა ასორტიმენტიც - მომხმარებელს მიეწოდება კერამიტის ქვიშა, კერამიტის ქვიშა - ღორღის ნარევი ან შერეული ხრეში [36].

კერამიტიული პროდუქტი, რომელიც გაყიდვაშია, ფრაქციულობის (δ) და მარკის (M კგ/მ³) მიხედვით, შემდეგი სახის შეიძლება იყოს:

- კერამიტის ქვიშა ($\delta = 0-5$ მმ; $M600$);
- კერამიტის ქვიშა - ღორღის ნარევი ($\delta = 0-10$ მმ; $M450, M500, M550$);
- კერამიტის ღორღი ($\delta = 5-10$ მმ; $M400, M450, M500, M600$).

- კერამზიტის ხრეში ($\delta = 10-40$ მმ; M400, M450, M500, M600)

კერამზიტის ფრაქციულობა განსაზღვრავს მის სიმტკიცეს და კუმშვაზე, რაც უშუალოდ კავშირშია მასალის მარკასთან (ნაყარი სიმკვრივე) და მის ფრაქციულობასთან (ცხრილი 4).

ცხრილი 4. კერამზიტის სიმტკიცე კუმშვაზე (სიმტკიცის მარკა) და ზღვრული სიმტკიცის მნიშვნელობები [36]

მარკა (ნაყარი სიმკვრივე) კგ/მ ³	სიმტკიცის მარკა	საცდელ ცილინდრში დაწნეხილი მასალის ზღვრული სიმტკიცე (მპა)	
		კერამზიტის ხრეში	კერამზიტის ღორღი
450	P 75	1,8	0,9
500	P 100	2,3	1,5
600	P 125	3,1	1,9

ზოგადად ცნობილია, რომ კერამზიტის დაწნეხაზე სიმტკიცე (მისი მარკიანობიდან გამომდინარე) 6-30 კგ/სმ² (0,6-3 მპა) ნაკლები არ უნდა იყოს. მასალაში დახურული ფორების რაოდენობა 60-დან 90%-მდე ზღვრებში უნდა მერყეობდეს, ხოლო ყინვამედეგობაზე გამოცდისას - კერამზიტული ხრეში უნდა კარგავდეს წონის არაუმეტეს 10%-ს [36, 37, 42].

კერამზიტის მისაღებად რამდენიმე სახის ნედლეულის გამოყენება შეიძლება [37-39]:

- რკინის მაღალი შემცველობის მქონე ადვილადდნობადი თიხები;
- თიხაფიქლები, არგალიტები და სხვა მყარი თიხოვანი ქანები;
- ძნელად აფუებადი თიხები, რომლებიც საჭიროებენ დანამატების შეყვანას და სპეციალურ დამუშავებას.

აფუების ხარისხის მიხედვით (აფუების კოეფიციენტი $K_{აფ}$ მიხედვით თიხოვანი ნედლეული სამ კატეგორიად იყოფა:

- სუსტად აფუებადი ($K_{აფ} < 2,5$; $\gamma_{მოც} = 750-1250$ კგ/მ³);
- საშუალოდ აფუებადი ($K_{აფ} < 2,5-4,5$; $\gamma_{მოც} = 450-750$ კგ/მ³);

➤ კარგად აფუებადი ($K_{აფ} > 4,5$; $\gamma_{მოც} < 400$ კგ/მ³);

ძირითადი მოთხოვნა, რომელსაც უნდა პასუხობდეს კერამზიტის მისაღები ნედლეული, არის მისი აფუების უნარი 1050-დან 1250°C-მდე ტემპერატურულ ინტერვალში და აფუების შედეგად მიღებულ მასალას უნდა ჰქონდეს უჯრედოვანი აღნაგობა და ამასთან თანაბარზომიერად განაწილებული ფორებით [40, 41].

კერამზიტის მისაღებად გამოყენებული თიხოვანი ნედლეული ქიმიური შედგენილობა მოყვანილია ცხრილი 5-ში.

ცხრილი 5. კერამზიტის მისაღებად გამოყენებული თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობები

ოქსიდები	სხვადასხვა აფუების ხარისხის მქონე თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობა (მას. %)		
	მაღალი	საშუალო	სუსტი
SiO ₂	50-60	60-70	>70
Al ₂ O ₃	16-24	10-16	<10
FeO + Fe ₂ O ₃	6-10	4-6	<4
Na ₂ O + K ₂ O	3-6	1,5-3	<1,5
CaO	3-4	3-4	>4

გარდა აღნიშნულისა, კერამზიტის მისაღები თიხები უნდა გამოირჩეოდნენ წმინდადისპერსული სტრუქტურით და დაბალი დაქვიშიანებით - არაუმეტესი 26%-ისა, მათში წმინდა ნაწილაკების (0,005 მმ-მდე) რაოდენობა 20%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს; გარბილების ინტეგრალი 50°C-ზე ნაკლები, ხოლო ცეცხლგამძლეობა 1350°C-ზე მეტი არ უნდა იყოს; კონკრეციების სახით 6%-ზე მეტი ოდენობით არ უნდა შეიცავდნენ კარბონატულ ქანებს, ხოლო დანაკარგები ვარვარებისას 6-10%-ის ზღვრებში უნდა იყოს [42].

ჩატარებული გამოკვლევებით კერამზიტის წარმოებისათვის ვარგისი თიხების შემადგენელ ჟანგეულებს შორის მოყვანილი თანაფარდობა უნდა ფიქსირდებოდეს [13, 42]:

$$\frac{\%SiO_2}{\%CaO + \%MgO + \%Fe_2O_3 - \%Na_2O + \%K_2O} < 4 \quad (1)$$

$$\frac{\%Fe_2O_3 + \%MgO + \%Na_2O + \%K_2O}{\%CaO} > 4 \quad (2)$$

აღსანიშნავია, რომ რაც უფრო მცირეა პირველი თანაფარდობა, მით უფრო ნაკლებია კერამზიტის მოცულობითი წონა (თიხიოვანი მასალა უკეთ აფუვდება).

გამოწვის დროს თიხიოვან მასალაში მიმდინარეობს რთული ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები: დეჰიდრატაცია, ორგანული მინარევების ამოწვა, დისოციაცია, თიხის კომპონენტებს შორის ურთიერთმოქმედება, ჟანგვა-აღდგენის რეაქციები და სხვ., რომლებიც განაპირობებენ აირგამოყოფას, ნალღობის წარმოქმნას და, საბოლოოდ, მასალის გარბილებას. სწრაფი გამოწვის დროს, ტემპერატურული ინტერვალები, რომლებშიც ეს პროცესები მიმდინარეობს, ერთმანეთს უახლოვდებიან. აღნიშნული საშუალებას იძლევა შევათავსოთ აირის წარმოქმნისა და მასალის გარბილების პროცესები იმ გარკვეული სიბლანტის მიღწევით, რომლის დროსაც თიხა აფუვდება. ამასთან, დიდი მნიშვნელობა აქვს იმას, რომ ინტენსიური აირგამოყოფის მომენტში მასალა შეცხვეს და ფორები დაიხუროს, წინააღმდეგ შემთხვევაში აირები ადვილად გამოიყოფა და მასალა არ აფუვდება.

მიმდინარე რეაქციებიდან დიდი მნიშვნელობა აქვს რკინის ჟანგეულების ურთიერთმოქმედებას თიხების ორგანული მინარევების ნახშირბადთან და მათი არასრული წვის პროდუქტებთან. რეაქციების შედეგად წარმოიქმნება აირადი პროდუქტები და რკინის ქვეჟანგი. რკინის ქვეჟანგი სხვა მინარევებთან ქმნის ადვილლლობად ევტექტიკებს, რომელთა შედეგადაც მიიღება ლღობილი, ეცემა მასალის სიბლანტე, წარმოიქმნება დახურული ფორები, რომლებიც ფართოვდებიან მათში არსებული აირადი პროდუქტების წნევით.

სიბლანტის მკვეთრი დაცემით, რასაც ადგილი აქვს მაგალითად, თიხაში CaO-ს მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემცველობისას, შეიძლება ფორების გაფართოების დროს გასკდეს და აფუებული მასალა „დაჯდეს“.

მაშასადამე, თიხიანი ქანების აფუება, მათი დაჩქარებული თერმული დამუშავებისას, პირდაპირკავშირშია სხვადასხვა აირისებრი პროდუქტების წარმოქმნასთან.

მიიჩნევენ, რომ იმ რეალურ ნივთიერებების რიცხვს, რომლებიც წარმოქმნიან აირებს შეიძლება მიკუთვნებულ იქნას: რკინის ოქსიდები, რომლებიც დიდი ოდენობითაა წარმოდგენილი ადვილლლობად თიხებში და თიხიან ფიქლებში, მაღალტემპერატურული გამოწვის დროს (თუ გამოწვის გარემო აღმდგენია) შეიძლება აღდგენენ:



ან წარმოქმნან ნახშირბადის ორჟანგი, თვით თიხებში არსებულ ორგანულ მინარევებთან ურთიერთქმედების ხარჯზე:



ქიმიურად ბმული წყალი, რომლებიც პირველადი ან მეორადი მინერალების შედგენილობაშია წარმოდგენილი (კაოლინიტი, ჰიდროქარსი, ქარსი და ა.შ.), მაღალტემპერატურული (1200-1250 °C) გამოწვის დაჩქარებული რეჟიმის დროს (ჩვეულებრივი კერამიკული ნაწარმის მიღებისას მათი გამოყოფა 900-1050°C-ზე მიმდინარეობს) შეიძლება შენარჩუნდეს და მათმა გამოყოფამ გადაინაცვლოს თიხოვანი ნედლეულის აფუების ტემპერატურულ ინტერვალში (1200°C) და ფოროვანი მასალის მიღების პროცესის აქტიური მონაწილე გახდეს.

სულფატები და სულფიდები, როგორც წესი ადვილადდნობად თიხოვან ქანებში წარმოდგენილია სულფატების და სულფიდების სახით (კალციუმის სულფატი, ორწყლიანი თაბაშირი, პირიტი, მარკოზიტი), რომელთა გახურებით გოგირდის ოქსიდური ნაერთები წარმოიქმნება და ამავე დროს მათმა გამოყოფამ (გამოწვისას ჩქაროსნული რეჟიმის პირობებში) შეიძლება თიხოვანი ქანის აფუების ტემპერატურაზე გადაინაცვლოს.

კარბონატები, რომელთა ძირითად სახეობებს ადვილადდნობად თიხებში კალციუმის და მაგნიუმის კარბონატები წარმოადგენენ, ჩვეულებრივი (ტემპერატურის თანმიმდევრული აწევა) გამოწვის პირობებში იშლებიან

500-950°C-ზე, მაგრამ ჩქარი გახურების შემთხვევაში მათი ნაწილის დაშლის პროცესმა (მაგ., CaCO_3) შეიძლება მაღალტემპერატურულ ზონაში გადაინაცვლოს.

ნახშირბადი, რომლის ამოწვა თიხოვანი ნედლეულიდან 800-1000°C-ზე ხდება, სხვაგვარად იქცევა ჩქარი გახურების პირობებში. როდესაც გარემო სუსტად დამყანგველია, მაშინ ნახშირბადის ნაწილი შენარჩუნდება თიხოვანი ქანის გარბილებამდე (პიროპლასტიკური მდგომარეობა) და თავისი წვლილი შეიძლება შეიტანოს აფუების პროცესში.

საწყისი ნედლეულის თვისებებიდან გამომდინარე არსებობს კერამიზაციის წარმოების რამდენიმე სქემა [39-42].

ქვიშამავარ და მკვრივ, ერთგვაროვანი შემადგენლობის, კარგად აფუებად და დაბალი კარიერული ტენიანობის მქონე თიხებს გამოწვის წინ მხოლოდ წვრილად ფქვავენ („მშრალი“ მეთოდი). ეს მეთოდი ყველაზე უფრო მარტივი და ეკონომიურია. არაერთგვაროვან ძნელადღობად, აფუების დაბალი ხარისხის მქონე ნედლეულს, რომელიც საჭიროებს ორგანული ნივთიერებების დამატებას, ამსხვრევენ, აშრობენ და ფქვავენ, მიღებულ ფხვნილებს ურევენ და მისგან გრანულებს ამზადებენ („ნახევრადმშრალი“ ხერხი) - ეს მეთოდი რთულია.

არაერთგვაროვანი, ტენიანი და ადვილადღობადი ნედლეულის შემთხვევაში რეკომენდირებული გადამუშავების პლასტიკური წესი, რაც ბრიკეტების შემდგომი დაყალიბებით მთავრდება. კარგადღობადი, მაგრამ მაღალი კარიერული ტენიანობის მქონე ნედლეულის შემთხვევაში, შეიძლება პულპის მომზადება და განსაკუთრებული კონსტრუქციის ღუმელებში გამოწვით გრანულების მიღება („სველი“ მეთოდი).

„ნახევრადმშრალი“ და პლასტიკური მეთოდებით გრანულების დასაყალიბებლად იყენებენ საყალიბო ან საწნებ ხვრეტილ ვალცებს, სარეველებიან დოლურ გრანულატორებს, ლენტურ წნეხებს, რომლებიც აღჭურვილნი არიან პერფორირებული ბადით. ნახევარფაბრიკატებს საშრომ დოლებში

აშრობენ და ამისათვის ღუმელიდან წარმავალი ცხელი აირების სითბოს გამოიყენებენ.

გრანულებს გამოწვავენ 20-დან 50მ-მდე სიგრძისა და 1,5-დან 3,5 მ-მდე გარე დიამეტრის მქონე ერთი, ან კომბინირებულ ორ დოლიან ღუმელებში. გამოწვის რეჟიმი თავისებურია და ზოგადად ხასიათდება გამოშრობის ზონაში მასალის ტემპერატურის შედარებით ნელი გამოწვის ზონაში შედარებით უფრო ჩქარი და აფუების ზონაში შესაძლებელი მაღალი სიჩქარით აწევით. აფუება, ჩვეულებრივ , 1150-1250 °C ინტერვალში იწყება და მისი ხანგრძლივობა დამოკიდებულია ნედლეულის თვისებებზე.

აფუების ღუმელში შეიძლება დამჟანგველი გარემო იყოს, მაგრამ ტემპერატურის სწრაფი აწევის და თიხაში ორგანული მინარევების არსებობის გამო, მასალის შიგნით მაინც აღმდგენი გარემო წარმოიქმნება. ღუმელში შექმნილი აღმდგენელი გარემო კი, დადებითად მოქმედებს აფუების პროცესზე. მზა კერამზიტს მაცივრებში აცივებენ, მაგრამ შენელებული რეჟიმით.

დადგენილია, რომ კერამზიტის წარმოების დროს უკეთესად ფუვდება ის მასალა, რომელსაც დიდი საწყისი სიმკვრივე, მრგვალი ან ერთნაირი ზომების მქონე ბრიკეტების ფორმა აქვს. რაც უფრო კარგად ფუვდება საწყისი ნედლეული, მით უფრო მეტი ტენიანობისა და დიდი ზომების მქონე ნახევარფაბრიკატი შეიძლება ჩაიტვირთოს ღუმელში.

1.4 . ყვარლის ფიქლის მიზნობრივი შესწავლის შედეგები

ყვარლის ფიქლის არსებობის და რეგიონის ეკოსისტემაზე მისი პრობლემატური გავლენის თაობაზე დიდი ხანია ცნობილია. პრობლემის ძირითადი არსი იმაშია, რომ ყოველწლიურად მდ. დურუჯის კალაპოტში ათასობით ტონა ნაშალი ფიქალი გროვდება და შეიძლება ითქვას, რომ პრაქტიკულად ადგილი აქვს ტექნოგენური ნედლეულის მძლავრი მარაგების არსებობას. ამავე დროს, მისი გამოყენება შეუძლებელია ყოველმხრივი კვლევების ჩატარების გარეშე. ამ მიმართულებით რამდენიმე ფუნდამენტუ-

რი კვლევა განხორციელდა, რომელთა შედეგების მოკლე ანალიზი წარმოდგენილია წინამდებარე თავში.

ჩატარებულ სამუშაოთა შორის უნდა გამოიყოს ევროკავშირის პროექტის ფარგლებში (Tacis BISTRI BIS/GEO/01/01)მ ჯერ კიდევ საუკუნის დასაწყისში ჩატარებული სამუშაო, რომელიც ყვარლის ფიქლის შესწავლა-გამოყენებას ეხებოდა [20].

აღინიშნა, რომ ყვარლის ფიქალი წარმოადგენს ალუმინსილიკატურ მასალას, რომელშიც იკვეთება რკონის - მაღალი, ხოლო ტუტე - და ტუტემიწა ოქსიდთა დაბალი შემცველობა. თვით საკვლევი მასალის პეტროგრაფიული და რენტგენოფაზური ანალიზით შესწავლით დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქალში წარმოდგენილია მრავალი სახის მინერალები (კვარცი, მინდვრის შპატები, მუსკოვიტი, თიხოვანი მინერალები, ქლორიტები და სხვ.), რომელთა ერთობამ გადაწყვიტა ყვარლის ფიქლის მიკუთვნება თიხიან ფიქალთა ნაირსახეობათა რიცხვში.

თერმული ანალიზის და რენტგენოფაზური კვლევის შედეგების შეჯერებით გამოთქმულია მოსაზრება იმის თაობაზე, რომ ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავება მნიშვნელოვნად ცვლის საკვლევი მასალის მინერალოგიურ შედგენილობას.

ყვარლის ფიქლის მრავალმხრივი შესწავლის საფუძველზე სამუშაოში რამდენიმე მოსაზრებაა გამოთქმული, რომელიც ყვარლის ფიქლის გამოყენებას ეხება. კერძოდ, გაკეთდა ვარაუდი ამ მასალის სამრწევლო სილიკატურ ისეთ სფეროებში გამოყენების თაობაზე, როგორცაა:

- მინის წარმოება (მარბლიტის ტიპის მინების ხარშვა მხოლოდ ყვარლის ფიქლის მონოკაზმიდან ან ფიქლის დამხმარე ნედლეულად გამოყენება მინის ტარის წარმოებაში);
- მომინანქრება (ფუძე და დამფარავი მინანქრების წარმოებაში);
- დაბალტემპერატურული გამოწვის კერამიკული ნაწარმის მისაღებად (მათ შორის სამშენებლო დანიშნულების შეცხოვრილი ნაწარმის);

- ცემენტის წარმოებაში (როგორც საწისქვილო დანამატი კლინკერის დაფქვისას, ასევე რკინაშემცველი ნედლეული კლინკერის მიღების პროცესში);
- დადასტურებულია არსებული მოსაზრება ყვარლის ფიქლის მაღალტემპერატურული აფუების საკითხთან მიმართებაში.

კიდევ ერთი სამუშაო უშუალოდ მიემდრინება აფუებული თბოსაი-ზოლაციო მასალების მიღების შესაძლებლობის კვლევას ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით. ერთ-ერთი კომპოზიციის შედგენილობაში შეყვანილ იქნა ყვარლის ფიქალი (კომპოზიცია პერლიტი - ფიქალი).

ნაჩვენებია, რომ თიხაფიქალის ზემოქმედება ნარევის პიროპლას-ტიკურ მდგომარეობაში გადაყვანაზე განსაკუთრებით ვლინდება პერ-ლიტზე მისი 40-60 წონითი წილის დამატების შემთხვევაში, როდესაც ნარევის აფუება 1240-1260°C-ზე განხორციელდა, ხოლო აფუების ინტერვა-ლი 50-70°C ზღვრებითაა წარმოდგენილი [16].

ამავე სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ პერლიტ-თიხაფიქლის ნარევის საფუძველზე, შემკვრელის დამატებით, მიიღება მასები, რომლებიც კარგად იწნეხება ნახევრად მშრალი დაწნეხვის მეთოდით. დამზადებული ნიმუშების ფილების, მათი 1240-1260°C თერმული დამუშავებისას, მიღებული იქნა ფოროვანი სტრუქტურის მქონე და ერთგვაროვანი აფუებული მასალა - ნიმუში. დადგენილ იქნა, რომ მიღებული ფილები ხასიათდებიან დაბალი მოცულობით მასით (0,3 – 0,6 გ/სმ³), მათი სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 0,6 – 3,0 მპა, წყაშთანთქვა - 2,5 – 7,0%-ს, ხოლო ფორია-ნობა 60-80%-ის ზღვრებშია. ავტორები მიიჩნევენ, რომ ადგილობრივი ქანების საფუძველზე შესაძლებელია, თერმული აფუების გზით, ეფექტური ფორიანი მასალების მიღება.

ყვარლის ფიქლის სამრეწველო გამოყენების და მისგან წარმოქმნილ ეკოლოგიურ პრობლემებს განიხილავენ კიდევ ერთ ნაშრომში [18]. მასში ხაზგასმულადაა წარმოდგენილი არსებული რეალობა - აფუებულ მასალას

(კერამზიტს) ამზადებენ, თიხის გარდა თიხაფიქალებიდან, ისეთ ქვეყნებში, როგორცაა: აშშ, რუსეთი, უკრაინა.

მიუხედავად აღნიშნულისა, საქართველოში არსებული ფიქალის გამოყენება არ ხდება. სამუშაოში წარმოდგენილი ინფორმაცია ძალზე მნიშვნელოვანია, მაგრამ განსაკუთრებით შეიძლება გამოიყოს კვლევის ის შედეგები, რომლებითაც მტკიცდება ყვარლის ფიქლის გამოყენების შესაძლებლობა ცემენტების და ბეტონების მიღების საქმეში.

კვლევაში მოსინჯული იქნა როგორც „ნედლი“, ასევე 700°C-ზე გამოწვით მიღებული ნედლეული, რომელთა გამოყენებით მიღებული სამშენებლო მასალების ვარგისიანობა (ხარისხი) დასტურდება მე-6 და მე-7 ცხრილებში მოყვანილი ექსპერიმენტის შედეგებით.

ცხრილი 6. ცემენტის შემადგენლობა და თვისებები [18]

ცემენტის შემადგენლობა, მას				ცემენტის თვისებები				
კლინ.	თაბ.	თიხაფიქალი		შეკვრის ვადები, სთ-წთ		სიმტკ. კუმშვა 28 დღე	ცემენტის აქტიურობა % FOCT 25094	აქტივ. ინდექ. 28 დღე ASTM C31105
		რაოდ.	გამოწვ. ტემპერ. °C	დასაწ.	დასასრ.			
95	5	-	-	2-00	4-30	50,5	-	-
85	5	10	700	2-05	3-35	55,0	+8,9	108,9
75	5	20	700	2-15	4-35	47,9	-5,1	94,8
65	5	30	700	2-35	4-55	42,0	-16,8	83,2
55	5	40	700	2-50	4-50	38,5	-23,8	76,2

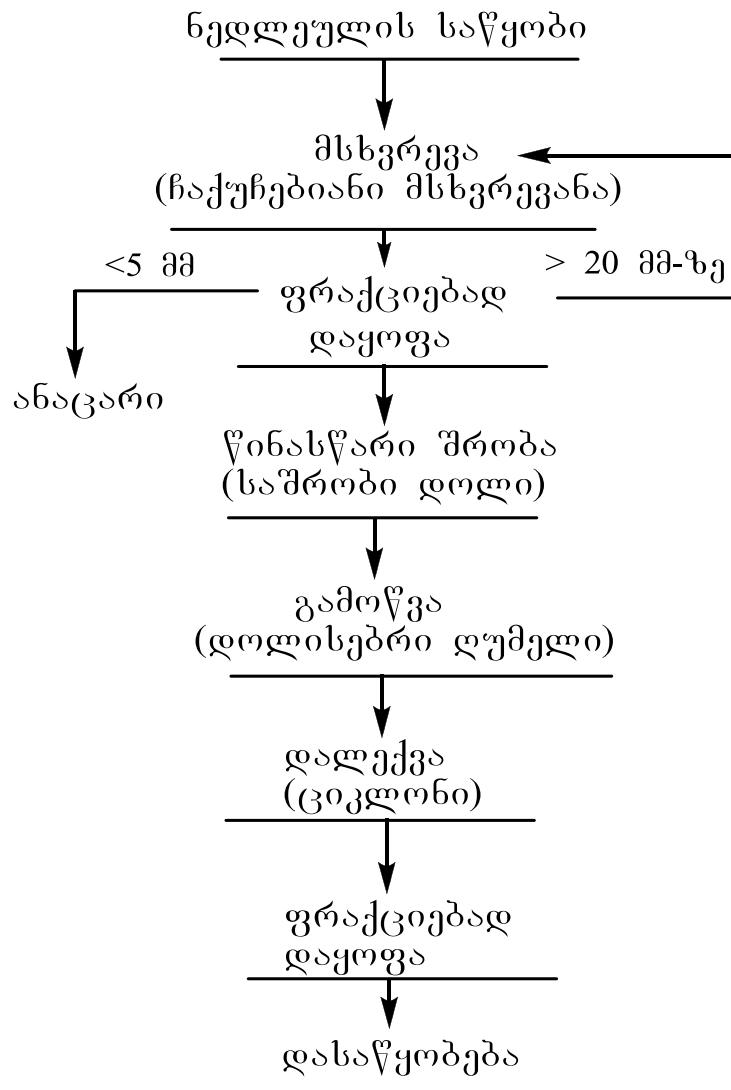
ცხრილი 7. ბეტონის შემადგენლობა და თვისებები [18]

ბეტონის შემადგენლობა, კგ/მ³								სიმტკიცე, კუმშ. მპა	
CEM1 42,5	ქვიშა 0-5 მმ	ღორღი 5-20 მმ	გამომწ. თიხაფიქალი - 0,31 მმ	პლასტიფ. Sika Viscorcete	წყალი	მოც. წონა	კონუს. ჯდება მმ	7 დღე	28 დღე
500	840	840	-	5,0	210	2395	180	59,1	69,6
500	815	815	50	5,0	215	2400	190	59,5	75,5
500	815	815	75	5,0	217	2425	185	60,3	747

თიხაფიქალის მრავალმხრივი შესწავლა განხორციელდა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულებულ სამუშაოებში, რომელთა ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია სამეცნიერო ჟურნალებში, პუბლიკაციების სახით [21-24], ხოლო შეჯერებული მასალა მოყვანილია სადისერტაციო ნაშრომის ავტორეფერატში [43].

მოყვანილ შრომებში წარმოდგენილი მასალის საფუძველზე შემდეგი საკვანძო შედეგების მოყვანა შეიძლება:

- თერმული დამუშავებით შესაძლებელია ყვარლის ფიქლის მაღალტემპერატურული აფუება, რომლის ინტენსივობის პიკი 900°C-და იწყება;
- ყვარლის ფიქლის აფუებას განაპირობებს მასში წარმოდგენილი რკინაშემცველი მინერალების ტემპერატურული გარდაქმნა და ასევე, ტემპერატურის ზეგავლენით გამოწვეული, მინერალებიდან სტრუქტურული წყლის გამოყოფა;
- განისაზღვრა ყვარლის ფიქლის აფუებაზე თერმოდამუშავების პარამეტრების გავლენა და დადგინდა ოპტიმალური პარამეტრები: ტემპერატურა 1150-1250°C, ხანგრძლივობა 10-12 წთ;
- დადგინდა, რომ ფიქლის აფუების მაღალი დონე მიიღწევა ორსაფეხურიანი თერმული რეჟიმის გამოყენების შემთხვევაში;
- დადგინდა, რომ ფიქლის რეჟიმის მაღალი დონე მიიღწევა ორსაფეხურიანი თერმული რეჟიმის გამოყენების შემთხვევაში;
- დადგინდა, რომ აფუებული ყვარლის ფიქალისათვის დამახასიათებელია დაახლოებით 80%-იანი ჭეშმარიტი ფორიანი, ხოლო მისი სტრუქტურა დახურულფორებიანი;
- ფოროვანი მასალების ზღვრული სიმტკიცე კუმშვაზე (2,4-15,4 მპა) და მათი წყალშთანთქმის უნარი (5-100%) დამოკიდებულია მასალის გრანულომეტრიაზე და ამავე დროს, ყველა ფრაქციულობის აფუებული ფიქალი მაღალი წყალმედევობით ხასიათდება (გარბილების კოეფიციენტი 0,7-ზე მეტია).



ნახ. 1. ყვარლის ფიქლიდან აფუებული (ფოროვანი) მასალის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა [43].

აღსანიშნავია, რომ ავტორის მიერ წარმოდგენილია ნედლი ყვარლის ფიქლიდან, მისი თერმული დამუშავებით, აფუებული მასალის მიღების ტექნოლოგიური სქემა [43]. მასში ყურადღებას იქცევს ის გარემოება, რომ ანაცარში (ნაყარის სახით) გადადის 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ნედლეული, ხოლო რეკომენდირებულია აფუების პროცესის ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავებით ჩატარება (ნახ. 1), რის თაობაზეც არგუმენტირებული მტკიცებულებანია წარმოდგენილი. წმინდაფრაქციული ყვარლის ფიქლის აფუების საკითხები მოყვანილია [24-26]-ში.

1.5 დასკვნები და კვლევის ძირითადი მიმართულებების განსაზღვრა

ფოროვანი მასალების ხელოვნურად მიღებას და მიზნობრივად გამოყენების საკითხს დიდი ისტორია არ გააჩნია - მისი დასაწყისი წინა საუკუნის 50-იან წლებზე მოდის. ასეთი მასალების მიღებისა და გამოყენების საკითხები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დღევანდელიდან გამომდინარე. ენერგოეფექტურობისადმი მზარდმა მოთხოვნებმა განაპირობა დაბალი თბოგამტარობის მაჩვენებლების მატარებელი მასალების ფართო გამოყენება მრავალ სფეროში. ფოროვან მასალათა ცნობილი ორი სახეობიდან (ორგანული და არაორგანული) ძალიან ხშირად უპირატესობა არაორგანული ბუნების ხელოვნურ მასალებს ენიჭება და ამას არგუმენტირებული მიზეზები გააჩნია: მაღალი თბოსაიზოლაციო თვისებები, მდგრადობა აგრესიულ გარემოსთან მიმართებაში, მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და ტემპერატურამედეგობა, ყინვამედეგობა, არალპობადობა და სხვა. ფოროვანი მასალების გამოყენების სფეროებიდან აღსანიშნავია სამშენებლო საქმე (შემსუბუქებული ბეტონის კონსტრუქციები და ნაკეთობები), სითბოიზოლაცია (ნაყარი თბოიზოლაცია, ცალობითი ნაწარმი, შემსუბუქებული ცეცხლგამძლეები და სხვ.), ბოლო წლებში მათ საფუძველზე შექმნილი აგრარული და ბიოსამედიცინო დანიშნულების პროდუქცია და მრავალი სხვ. აღსანიშნავია, უპირატესობას ხელოვნურ ფორიან მასალებს ანიჭებენ, რადგან ნედლეულის და აფუების ხერხების შერჩევით შესაძლებელი ხდება სასურველი სტრუქტურის (კერძოდ, ფორებიანობის სახეობით) და თვისებების მატარებელი მასალების მიღება, რაც განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მათი მონაწილეობით შექმნილი სხვადასხვა კომპოზიციური მასალის და ნაკეთობის მიღების საქმეში.

განსაზღვრული შიგა მოწყობის და სასურველი თვისების მატარებელი არაორგანული ფოროვანი მასალის მიღების ათამდე ხერხი არსებობს, მაგრამ როდესაც საკითხი ეხება ბუნებრივი ქანებიდან მათ მიღებას- უპირატესობას თერმული და მუშავების ხერხს ანიჭებენ. თერმული აფუება განსაკუთრებით მიზანშეწონილია ისეთი წყალ- ან რკინაშემცველ ნედლეულთან

მიმართება, რომელთა პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადაყვანა შესაძლებელია. ამავე დროს, ასეთი ნედლეულის აფუების მაქსიმალური ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 1300°C და მასალა მით უფრო ფასობს, რაც ნაკლებია აფუების ტემპერატურა და მეტია აფუების ტემპერატურული ინტერვალი (არა ნაკლები 50°C).

თერმული აფუებით მიღებულია ფორიანი მასალები ისეთი ნედლეულიდან, როგორცაა ვერმიკულიტი, პერლიტური ქანები და თიხოვანი მასალები. იგივე რიგითობით ისინი ავლენენ აფუებისადმი მიდრეკილებას (საუკეთესო - ვერმიკულიტია). მათგან განსაკუთრებული ადგილი უკავია თიხებიდან და თიხაფიქლებიდან მიღებულ (მათი თერმული დამუშავებით) ხელოვნულ მასალას - კერამზიტს. კერამზიტი მიიღება მაღალრკინაშემცველი ნედლეულიდან, როდესაც მასთან ერთად შედგენილობებში ორგანული ბუნების შემადგენელია წარმოდგენილი. ერთ-ერთი მათგანის ნაკლებობა ძალიან აქვეითებს აფუების ხარისხს. პრაქტიკულად კერამზიტის მიღება შესაძლებელია ადვილადდნობადი თიხებიდან (ე.წ. პლასტიკური ქანები) და ასევე რკინაშემცველ თიხაფიქლებისაგან (ე.წ. მკვრივი ქანი).

სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული მონაცემებით, ცალკეული შედგენილობის თიხაფიქლიდან შესაძლებელია 250-დან 1200-მდე მარკის (ფრაქციულობიდან გამომდინარე) კერამზიტის მიღება, რომელთა სიმტკიცე კუმშვაზე 35კგ/სმ²-მდე შეადგენს, ხოლო სხვა მახასიათებლებიდან აღნიშნავენ კერამზიტული მასალის დაბალ თბოგამტარობას (თბოგამტარობის კოეფიციენტი ნაკლებია 25 კგ/მ.სთ.გრად) და წყალშთანთქმას (არა უმეტესი 30%), ასევე კარგ ყინვამედეგობას (15 ციკლზე მეტი). ასეთი თვისებების მატარებელი ფორიანი მასალა - კერამზიტი ფართოდ გამოიყენება არა ერთი მიმართულებით - თბოსაიზოლაციო, კონსტრუქციულ თბოსაიზოლაციო, კონსტრუქციული კერამზიტური სამშენებლო და სხვა სახის ნაწარმის მისაღებად.

კერამზიტის მიღების თვალსაზრისით, ცალკე საკითხად აყენებენ იმ ნედლეულის ქიმიურ-მინერალურ შედგენილობას, რომელიც მის მისაღე-

ბად იქნა გამოყენებული. ყურადღება ექცევა არა მარტო რკინაშემცველობას, არამედ ნედლეულში შემავალი ე.წ. მალღობლების (ტუტე- და ტუტემიწა ოქსიდები) სახეობას და კონცენტრაციას. აქედან, ხაზგასმით აღინიშნება, რომ კერამიკის მისაღები ყოველი ახალი სახის ნედლეული მოითხოვს ყოველმხრივ შესწავლას და მათ შორის იმ ტექნოლოგიურ თავისებურებათა გამოვლენას, რომლებიც ნედლეულის კარგ აფუებას და სასურველი თვისებების მატარებელი ფორებიანი მასალის მიღებას უზრუნველყოფს.

სამეცნიერო პერიოდიკაში არსებული მასალის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ უკანასკნელ ათწლეულში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა საქართველოში, კახეთის რეგიონში, მდ. დურუჯის ხეობაში არსებულ თიხაფიქლებს - ე.წ. ყვარლის ფიქლებს. მათ მიმართ არსებული ინტერესი ორი მიზეზით აიხსნება: რეგიონის ეკოლოგიური პრობლემით და ძირითადად სამშენებლო დანიშნულების სანედლეულო ბაზის განვითარებით. ამ მიმართულებით გამოიკვეთა როგორც ნედლი, ასევე დაბალტემპერატურული თერმული დამუშავებით (დაახლოებით 700-800°C ინტერვალში გააქტიურებული სხვადასხვა ფრაქციულობით ყვარლის ფიქლის გამოყენების შესაძლებლობა ცემენტის კლინკერის მიღების და ბეტონების შემავსებლად გამოყენების საქმეში. მიზნობრივად ჩატარებული კვლევით ასევე დადგინდა ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა, აფუების პროცესის განმსაზღვრელი პარამეტრები (ტემპერატურა და თერმული დამუშავების ხანგრძლივობა), მიღებული ფორიანი მასალის სტრუქტურული მოწყობა (ფორების სახეობა და ფორიანობის ხარისხი) და წამყვანი თვისებები (მოცულობითი მასა, წყალშთანთქმა, სიმტკიცე კუმშვაზე, წყალმედევობა) და ა.შ. ყვარლის ფიქლის აფუების შესწავლის პროცესში გამოიკვეთა ისეთი მნიშვნელოვანი გარემოება - ნედლეულში წვრილ-ფრაქციული (5მმ-ზე ნაკლები ზომის მარცვლები) მარცვლების არსებობა იწვევს არათანაბარზომიერ აფუებას და აქედან რეკომენდირებულია მათი ტექნოლოგიური პროცესიდან ამოღება (ნაყარის სახით გამოყოფა).

აღნიშნულიდან გამომდინარე, სამუშაოს ჩატარების წინაპირობას წარმოადგენდა წვრილფრაქციული ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის შესწავლა-შეფასება, მასალის ქიმიური შედგენილობიდან გამომდინარე აფუების პროცესის ინტენსიფიკაციის გზების მოძიება და მიღებული ფორიანი მასალების საფუძველზე შემსუბუქებული სამშენებლო მასალის მიღების შესაძლებლობის დადგენა.

2. შედეგები და მათი განსჯა

როგორც აღინიშნა, მრეწველობის არა ერთ დარგში ფიქლების გამოყენებისადმი მიძღვნილი მრავალი სამუშაოა ჩატარებული და აღნიშნულის მიზეზი - ყოველი ცალკეული ადგილმდებარეობის ქანის თავისებურებაა (ქანწარმოქმნის პირობები, მათი ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობა და სხვ.). ამ მხრივ გამონაკლისს არც კახეთის ყვარლის რეგიონში, მდ. დურუჯის ხეობაში (კალაპოტში) არსებული კლდოვანი ნატანი ქანები - თიხაფიქლები წარმოადგენენ. ე.წ. ყვარლის ფიქლის მარაგები მილიონობით ტონას ითვლის, ხოლო „ეკოლოგიურად განახლებადი“ ფიქლის ნატანის წლიური მოცულობითი მასა მილიონობით მ³-ს შეიძლება აღწევდეს, რაც რეგიონის ეკოლოგიური კატასტროფის გამომწვევი მიზეზი შეიძლება გახდეს [18].

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ყვარლის ფიქლის შესწავლა და მათი პრაქტიკული გამოყენების საკითხების გადაწყვეტა, ორმაგი დატვირთვის მატარებელი ხდება: ის ემსახურება როგორც ადგილობრივი საწარმოო სახედილო ბაზის გაფართოებას, ასევე ყვარლის რეგიონში ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას [20].

2.1. ყვარლის ფიქლის ქიმიურ-მინერალოგიური შესწავლის შედეგების ანალიზი

ყვარლის ფიქლის, როგორც ბუნებრივი ქანის შესწავლის შედეგები წარმოდგენილია რამდენიმე ნაშრომში და მათ შორის გამოვეყოფდით ევროკავშირის პროექტის ფარგლებში შესრულებულ სამუშაოს, რომელშიც ყვარლის ფიქლის შესწავლა განხორციელდა ფიზიკურ-ქიმიური კვლევის, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება სოლიკატური ქანების და მასალების მიმართებაში [20]. ყვარლის ფიქლის ქიმიური შედგენილობა და მასში არსებული ძირითადი კრისტალური ფაზების სახეობა წარმოდგენილია

კიდევ ორ მკვლევართა ჯგუფის მიერ შესრულებულ ნაშრომებში [19, 21, 53).

რაც შეეხება კვლევებში გამოყენებული ყვარლის ფიქლის ნიმუშების ქიმიურ შედგენილობას - მათში მთელ რიგ ნაერთთა შემცველობა განსხვავებულია (ცხრილი 8).

ცხრილი 8. სხვადასხვა კვლევებში გამოყენებული ყვარლის ფიქლის ნიმუშების ქიმიური შედგენილობა (მას.%)

ჯგუფის №	ყვარლის ფიქლის შემადგებელი ნაწილები (პირობითი დაყოფა)	ქიმიური ანალიზის შედეგები	შემცველობათა ქიმიური ანალიზის მიხედვით (წყარო)		
			ნიმუში A [20]	ნიმუში B [21]	ნიმუში C [53]
1	ძირითადი ოქსიდები	SiO ₂	54,75	57,6	58,0
		Al ₂ O ₃	21,76	19,4	18,8
		(SiO ₂ +Al ₂ O ₃)	(76,51)	(77,0)	(76,8)
		Fe ₂ O ₃	7,18	7,2	2,86
		FeO	-	-	3,65
		(Fe ₂ O ₃ +FeO)	(7,18)	(7,2)	(6,51)
		CaO	0,61	1,3	,152
		MgO	3,28	2,9	1,75
		(CaO+MgO)	(3,89)	(4,2)	(3,27)
		Na ₂ O	1,78	-	2,1
K ₂ O	3,32	-	3,0		
(Na ₂ O+K ₂ O)	(5.10)	(4.7)	(5.10)		
2	სხვა ოქსიდური ნაერთები	P ₂ O ₅	-	-	0,23
		MnO	-	-	0,23
		So ₃	0,9	0,9	0,23
		TiO			0,89
		(ჯამი)	(0,9)	(0,9)	(1,58)
3	ორგანული შემადგენელი	C	-	-	1,74
		Humanus (ნიადაგის მიწა)	-	-	2,0
		(ჯამი)	-	-	(3,74)
4	ხურების (ვარგარების) დანაკარგები შემცველობა	%.დ.	4,91	6,0	3,5
		H ₂ O	0,51	-	-
		(ჯამი)	(5,42)	(6,0)	(3,5)

სამი (A, B და C) გამოკვლეული ნიმუშის შედგენილობაში იკვეთება SiO_2 და Al_2O_3 -ის შემცველობათა 3-3 მას.%-იანი სხვაობა, მაგრამ ორივე წამყვანი ოქსიდების შემცველობა დაახლოებით ტოლფასოვანია და დაახლოებით 77 მას %-ს შეადგენს. აღნიშნულ ოქსიდთა მიმართებაში შეიძლება აღინიშნოს, რომ SiO_2 -ის მცირე რაოდენობა Al_2O_3 -ის გაზრდილი შემცველობით კონპენსირდება და პირიქით.

რკინის ოქსიდთა შემცველობა, ორი ქიმიური ანალიზის შედეგების მიხედვით (შედგენილობები A და B), პრაქტიკულად ემთხვევა ერთმანეთს, მაგრამ განსხვავდებიან შედგენილობები C-საგან (შესაბამისად, დაახლოებით 7,2 მას. % და 6,5 მას.%). რკინის ოქსიდთა მიმართებაში კიდევ ერთი გარემოება იქცევს ყურადღებას - A და B შედგენილობებში რკინის ოქსიდთა შემცველობა მოცემულია შეჯამებული სახით (Fe_2O_3 -ზე გადაანგარიშებით), როდესაც ნიმუშში C რკინის ოქსიდები ცალ-ცალკეა წარმოდგენილი რკინა (III) და რკინა (II) ოქსიდების სახით. ამ შედგენილობის ფიქალში რკინის სხვადასხვა ოქსიდთა ფარდობა ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$) დაახლოებით 0,8-ს შეადგენს. აღნიშნული ფაქტი იმაზე მიანიშნებს, რომ ფიქალში მოსალოდნელია Fe(II) ოქსიდის მცირეოდენი სიჭარბე.

ტუტემიწა ოქსიდთა შემცველობის მიხედვით უნდა აღინიშნოს ნიმუშებში მათი განსხვავებული ოდენობით არსებობა, რაც იმაში გამოიხატა, რომ CaO-ს შემცველობა 0,61-დან 1,52-მდე, ხოლო MgO-ს - 1,75-დან 3,28 მას.%-მდე მერყეობს. ორივე ოქსიდის ჯამური შემცველობა ყველაზე მცირეა C შემადგენლობაში (3,27 მას.%), ხოლო RO-ს ყველაზე მაღალი შემცველობა B-შედგენლობაშია (4,2 მას.%), ე.ი. სხვაობა უმნიშვნელოა და თითქმის 1 მას. %-ს შეადგენს. ამავე დროს, რადიკალური სხვაობა გამოიკვეთა CaO და MgO შემცველობათა ფარდობებში:

- შედგენილობა A – $\text{MgO}/\text{CaO}=5,1$;
- შედგენილობა B – $\text{MgO}/\text{CaO}=2,1$;
- შედგენილობა C – $\text{MgO}/\text{CaO}=1,2$.

რაც მიუთითებს ყვარლის ფიქლის ნიმუშებში MgO-ს უპირატეს მდგომარეობას.

ტუტე ოქსიდთა შემცველობა სამივე სინჯში დაბალია, რაც განსაკუთრებით B-სინჯის შემთხვევაში შეიმჩნევა ($\%R_2O=4,7$), როდესაც R_2O -ს უფრო მაღალი შემცველობით A და C შედგენილობები გამოირჩევიან, რომელთა შედგენილობებში R_2O -ს ტოლფასოვანი (5,1 მას.%) შემცველობა ფიქსირდება. ზოგადი შეფასებით, ფიქლის ნიმუშებში იკვეთება K_2O -ს სიჭარბე, რაც K_2O/Na_2O თანაფარდობიდან გამომდინარე განსაკუთრებით A-შედგენილობას ახასიათებს.

ყვარლის ფიქალი - ბუნებრივი წარმოშობის მასალაა, რომლის შემადგენლობაში ორგანული შემადგენელიცაა წარმოდგენილი და მისი ბუნება მხოლოდ C-შემადგენლობაში არის დაზუსტებული - ორგანული შემადგენელი დაყოფილია ნახშირბადად და Humus-ად (ანუ ნიადაგის მიწად), რომელთა საერთო რაოდენობა თითქმის 4 მას.%-ს შეადგენს (ცხრილი 8).

ყვარლის ფიქლის შედგენილობაში წარმოდგენილია აგრეთვე სხვა ოქსიდური ნაერთები (ნაერთთა ჯგუფი 2, ცხრილი 8), რომელთა რაოდენობა მცირეა. მათგან საყურადღებოა SO_3 , რომლის შემცველობა სინჯებში A და B 0,9 მას. %-ს შეადგენს. იგივე გოგირდის ანჰიდრიდი არსებობს ფიქლის C-სინჯში, მაგრამ მისი რაოდენობა თითქმის სამჯერ ნაკლებია (0,23 მას.%). ნიმუში C-ს თავისებურება აგრეთვე იმაში გამოიხატა, რომ მასში დამატებით დაბალი შემცველობით P_2O_5 და MnO (თითოეული 0,23 მას.%-იანი შემცველობით), მაგრამ მაღალი შემცველობით (0,9 მას.%) TiO_2 -ის წარმოდგენილი. შედგენილობებში არსებული სხვაობა ქიმიური ანალიზის ჩატარებისას გამოყენებული სხვადასხვა მეთოდებით შეიძლება აიხსნას.

ყვარლის ფიქლის ძირითად მახასიათებლად ხურების (ვარვარების) დანაკარგები შეიძლება ჩაითვალოს, მით უფრო თუ მხედველობაში მიღებული იქნება წინამდებარე კვლევის ძირითადი მიზანი - ყვარლის ფიქლის თერმოდამუშავებით აფუება. ამ მიმართულებით აღსანიშნავია ხურების დანაკარგების მეტ-ნაკლები თანხვედრა A და B ნიმუშებისათვის

(შესაბამისად, 5.42 და 6,0 მას.%). თუ შევაჯამებთ C-ნიმუშში წარმოდგენილ პოტენციალურად წვად ნახშირბადურ შემადგენელს (1,74 მას.%) და მის ხურების დანაკარგს (3,5 მას.%), მივიღებთ ჯამურ შესაძლებელ დანაკარგს (1,74+3,5=5,24 მას.%), რაც უახლოვდენა სხვა ორი ნიმუშისათვის დადგენილ ხურების დანაკარგთა სიდიდეს (ცხრილი 8).

დღეისათვის არსებული მონაცემებით, ყვარლის ფიქლის გასაშუალოებული ქიმიური შედგენილობა წარმოდგენილია მე-9 ცხრილში. აქვეა წარმოდგენილი ჩვენს მიერ შესწავლილი ყვარლის ფიქლის სინჯის ქიმიური შედგენილობა. მე-9 ცხრილში მოყვანილი შედეგების ანალიზით შეიძლება გამოითქვას მოსაზრება, რომ ალუმინსილიკატური შემადგენლების (SiO₂ და Al₂O₃) ჯამური შემცველობა, ისევე როგორც მლღობელთა (R₂O და RO) რაოდენობა; გასაშუალებულ და საცდელ სინჯში პრაქტიკულად იდენტურია (გადახრა 0,2%-ს არ აღემატება).

ცხრილი 9. სხვადასხვა კვლევებში შესწავლილი ყვარლის ფიქლის გასაშუალოებული (1) და საცდელი (2) სინჯის ქიმიური შედგენილობები

№	ქიმიური ნაერთები და მათი შემცველობა, მას. %									
	SiO ₃	Al ₂ O ₃	FeO+ Fe ₂ O ₃	MgO+ CaO	Na ₂ O +K ₂ O	SO ₃	სხვა ნაერთები	ორგანული შემადგენელი	ხურების დანაკარგები	ჯამი
1	56,8	20,0	7,0	3,8	5,0	0,7	0,5	0,9	5,6	100,0
2	57,6	19,4	7,2	4,2	4,7	0,9	-	-	6,0	100,0
	+0,8	-0,6	+0,2	+0,4	-0,3	+0,2	-0,2	-0,9	+0,4	

***შედგენილობის გადახრა : (+ Δ) - საცდელ ნიმუშში მეტი შემცველობაა
(- Δ) - საცდელ ნიმუშში ნაკლები შემცველობაა**

ასევე უმნიშვნელოა „სხვა ნაერთების“ და SO₃-ის შემცველობათა სხვაობა. საყურადღებოა მე-9 ცხრილში წარმოდგენილი ორი შემადგენლის (ორგანული შემადგენელი და „ხურების დანაკარგები“) განცალკევება, როგორც ეს ერთ-ერთ ნაშრომშია [53], რადგან ორგანული შემადგენელი, ხურების დანაკარგის განსაზღვრისას, მის განუყოფელ ნაწილს უნდა შეადგენდეს (განსაზღვრის ორგანული ნაერთები მაღალ ტემპერატურაზე ჩატარებისას ამოიწვება). აღნიშნულის გათვალისწინებით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ

ხურების დანაკარგის სიდიდეთა სხვაობა 0.5%-მდე შეიძლება იყოს. ასევე მცირე სხვაობაა რკინის ოქსიდთა ჯამურ შედგენილობათა შორის (0,2 %).

ჩვენს მიერ ექსპერიმენტის ჩასატარებლად აღებული ყვარლის ფიქლის საცდელი ულუფისა და გასაშუალებული შედგენილობის ურთიერთშედა-რება ერთ მიზანს ემსახურებოდა - რამდენად მისაღები და შესაძლებელი იქნებოდა ჩვენს მიერ მიღებული ექსპერიმენტალური კვლების შედეგების განზოგადება ყვარლის ფიქლის, როგორც პერსპექტიული სანედლეულო ბაზის, მიმართებაში.

როგორც აღინიშნა, ყვარლის ფიქლის მიზნობრივი შესწავლა მიზნად ისახავდა მისგან სხვადასხვა დანიშნულების და მათ შორის ფორიანი მასალის მიღებას [16-20]. კარგადაა ცნობილი, რომ ქიმიური შედგენილობის გარდა, ბუნებრივი მასალების თვისებებს მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მათი მინერალოგიური შედგენილობა, რაც განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ალუმინსილიკატური შედგენილობის (მაგ.: თიხები, მინდვრის შპატები და სხვ.) ნედლეულის თერმული დამუშავების შემთხვევაში. აღნიშნულის მიზეზი მათში არსებული მინერალების ხშირად შეუქცევადი გარდაქმნები ხდება (მინერალების დაშლა ან ლღობა, მათი მონაწილეობით მყარფაზური რეაქციების მიმდინარეობა და სხვ.) [44, 54-57].

ყვარლის ფიქალთან მიმართებაში განხორციელდა მისი მინერალო-გიური შედგენილობის კვლევა - შედეგები რამდენიმე სამეცნიერო ნაშრომ-შია წარმოდგენილი და მათ შორის გამოვყოფდით [16, 20, 53] და საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ჩატარებულ კვლევას [21]. აღსანიშნავია, რომ ყველა ნაშრომში ძირითადად გამოყენებული იქნა პეტროგრაფიული შესწავლის და რენტგენფაზური კვლევის მეთოდები.

ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქალი არის კლდოვანი ნაშალი ქანი და გარე სახით წარმოადგენს მუქი რუხი-მოშავო შეფერილობის მყარ ფირფიტამაგვარ (ბრტყელ), ძირითადად 40 მმ-მდე ზომის გლუვზედაპირიან ნატეხებს. ბუნებრივ მდგომარეობაში ის წარმოად-გენს წვრილმარცვლოვან ზონალური აგებულების თიხაფიქალს, რომელშიც

წარმოდგენილია მრავალი სახის მინერალები. მათ შორის თავისი მაღალი შემცველობით გამოირჩევიან კვარცი და პლაგიოკლაზები, რომლებიც (როგორც ცნობილია) დედამიწის ქერქის ზედა შრეების მთავარ ქანწარმომქმნელად არიან ცნობილი [45, 46].

კვარც-პლაგიოკლაზის ნატეხებს შორის სივრცეებს იკავებენ ქლორიტების ჯგუფის მინერალებია - მაგნიუმის, რკინის და ალუმინის ოქსიდების შემცველი ნივთიერებები. სპეციალური ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ ასეთი მინერალები მეტამორფული ქანების წარმომქმნებლად მიიჩნევიან და მათი არსებობა უკავშირდება თიხოვანი მინერალების დაშლის პროცესს [58, 59].

ყვარლის ფიქალში მცირე რაოდენობით წარმოდგენილია კალიუმის მინდვრის შპატის კრისტალები - როგორც ჩანართებად წარმოდგენილი დამოუკიდებელი მინერალი. იგივე მდგომარეობაში მყოფი სხვა ტიპის კრისტალური ჩანართებიდან შესაძლებლად მიიჩნევენ ყვარლის ფიქალში შემდეგი სახის რკინაშემცველი მინერალების არსებობას:

მაგნეტიტი (Fe_3O_4);

მაგნეზიტიფერიტი ($\text{Mg Fe}_2\text{O}_4$);

გარცენიტი (FeAl_2O_4);

პირიტი (FeS_2);

მაგელიტი (Fe_2O_3) [20, 21].

ორგანული ბუნების ჩანართების არსებობის თაობაზე რიგი შრომების მიხედვით, ყვარლის ფიქალში ისინი მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი. მათი ძალიან წვრილი ზოლებით ან ზოგადად ნახშირბადშემცველი ნაერთების არსებობაზე ინფორმაცია [20, 53]-შია მოყვანილი.

ყვარლის ფიქლის მინერალოგიური შედგენილობის შესწავლა რენგენოფაზური ანალიზითაც განხორციელდა, მაგრამ სრული თანხვედრა პეტროგრაფიულ შესწავლის და რენტგენოფაზური ანალიზის არ დაფიქსირდა. ორ ნაშრომში მოყვანილი შედეგები შედარებით ჩამონათვალში ვეცადეთ წარმოგვედგინა [20, 53]:

ნაშრომი- [20]	ნაშრომი -[53]
კვარცი	კვარცი
მინდვრის შპატი	მინდვრის შპატი
მუსკოვიტი	ქარსი
რკინა-მაგნეზიალური ქლორიტი	ქლორიტები
თიხოვანი მინარევები	თიხოვანი მინერალები

ორივე ნაშრომში თანხვედრა თითქმის ყველა მინერალების მიმართ ფიქსირდება, მაგრამ საგულისხმოა, რომ რენტგენფაზური ანალიზით არ დაფიქსირდა რკინაშემცველი მინერალების არსებობა. ამის ახსნა შეიძლება ორი მიზეზით: რკინაშემცველი სხვადასხვა მინერალების მრავალფეროვნება განსაზღვრავს მათი ცალკეული წარმომადგენლების სიმცირეს და მასთან კავშირში მყოფი მახასიათებელი დიფრაქტოგრამის რეფლექსების სისუსტეს.

ტემპერატურის (თერმული დამუშავების) გავლენა ყვარლის ფიქლის მინარელოგიურ შედგენილობაზე გამოვლენილ იქნა თერმული ანალიზით და რენტგენოფაზური ანალიზით. ყვარლის ფიქლის იმ თერმოგრამების მონაცემთა შეჯერებით, რომლებიც რამდენიმე სამეცნიერო ნაშრომშია წარმოდგენილი შეიძლება შემდეგი ფაქტების წარმოდგენა:

	ნაშრომი - [53]	ნაშრომი - [21]	ნაშრომი - [16]
ეგზოფეექტების მაქსიმუმი (°C)	620	610	400 და 600
ენდოფეექტების მაქსიმუმი (°C)	680	690	440 და 560
წონითი დანაკარგების მაქსიმუმი (°C)	500-700	500-700	400-800

მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარე, ყვარლის ფიქლის შესაძლო გარდაქმნათა ტემპერატურული ინტერვალი 500-800°C ტემპერატურულ

ინტერვალში უნდა მიმდინარეობდეს. აღნიშნული ინტერვალის სრულად ემთხვევა თიხოვანი მინერალების და რკინის ოქსიდთა გარდაქმნებს.

ცნობილია, რომ ამ ტემპერატურებზე ჰიდროალუმინსილიკატების მიერ ბმული წყლის დაკარგვა და ასევე ჰაერზე რკინის ოქსიდთა შემდეგი შეუქცევადი ძირითადი ტრანსფორმაცია $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4$ წარიმართოს [44, 57-62], რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებისას მასში გარდაქმნათა არსებობას აქვს ადგილი - იცვლება მასალის ფაზური შედგენილობა: რიგი ფაზათა რაოდენობის შემცირების ხარჯზე ახალი ფაზები წარმოიქმნება [21, 53].

თერმული დამუშავებით გამოწვეული ფაზათა რაოდენობის და სახის სახეცვლილებები სხვადასხვა ტემპერატურაზე თერმოდამუშავებული ყვარლის ფიქლის ფაზური შედგენილობის შესწავლამ აჩვენა. 600°C -დან დაწყებული თანდათანობით კლებულობს ქლორიტების და ქარსული შემადგენლობის რაოდენობა, უკვე 800°C -ზე დაშლილია ყველა თიხოვანი მინერალი და ჩნდება ამორფული ფაზა და საბოლოოდ 1250°C -ზე ამორფული ფაზის დიდი რაოდენობა, ხოლო კვარცის რაოდენობა საგრძნობლად კლებულობს და ქარსისებრი შემადგენლები სრულად გარდაქმნილია, სავარაუდოდ დაფიქსირებული ამორფული ფაზის წარმოქმნის ხარჯზე [53]. შედეგობრივად შესატყვისი შედეგები მიღებულია კიდევ ერთ ნაშრომში [21], სადაც შედარებულია საწყისი (ბუნებრივი) და 1000°C -ზე თერმულად დამუშავებული ყვარლის ფიქლის რენტგენოფაზური შესწავლის შედეგები. ამ შემთხვევაშიც დასტურდება ფიქლის ფაზური შედგენილობის მნიშვნელოვანი გარდაქმნა და რაც მნიშვნელოვანია - ამორფული ფაზის მნიშვნელოვანი რაოდენობით წარმოქმნა.

ყვარლის ფიქლის შესწავლის შედეგებიდან უნდა აღინიშნოს, ყვარლის ფიქლის მარცვლების ზედაპირული ფერთა ცვლა, რომელიც 600°C და უფრო მაღალ ტემპერატურებზე შეინიშნება [21, 23]. ამ დროს ფერთა გამა შემდეგია: მურა ფერი $>600^\circ\text{C}$ ჩალისფერი $>900^\circ\text{C}$ მოყავისფრო-მოწითალო $>1000^\circ\text{C}$ მუქი ყავისფერი $>1300^\circ\text{C}$ შავი ფერი.

აღნიშნული ფერთა არსებობა რკინის ოქსიდთა მასალის მარცვლების ზედაპირზე გარდაქმნას უნდა უკავშირდებოდეს.

რადგან: FeO (შავი), Fe₂O₃ (მოწითალო-მოყავისფრო), Fe₃O₄ (შავი) ფერებით ხასიათებიან.

სამეცნიერო პუბლიკაციებში წარმოდგენილ მონაცემებზე დაყრდნობით გაკეთდეს ყვარლის ფიქლის, როგორც სანედლეულო ქანზე, გარშემო შემდეგი რეზიუმე:

- ყვარლის ფიქალი წარმოადგენს ალუმინსილიკატურ, ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობით რთულ, მაგრამ ძირითადად ერთგვაროვან მასალას;
- თერმული დამუშავება 800°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურებზე იწვევს ყვარლის ფიქლის ღრმა სტრუქტურულ გარდაქმნას და აფუებას. ზღვრულ ტემპერატურად შეიძლება მიჩნეულ იქნას 1300°C, როდესაც ფიქალი ლღობას იწყებს, ხოლო აფუების პროცესი შენელდება;
- ყვარლის ფიქლის შედგენილობაში წარმოდგენილია რკინაშემცველი ოქსიდური, შპინელისებრი და სხვა სახის ნაერთები, რომლებიც ჰიდროალუმინსილაკატების მსგავსად, სახეცვლილებას განიცდიან 500°C-ზე ზემოთ თერმოდამუშავების პროცესში;
- რკინის ნაერთთა მოსალოდნელი თერმოგარდაქმნებით დასტურდება, ვიზუალურად შესამჩვენ ყვარლის ფიქლის მარცვლების ზედაპირის ფერთა ცვლით და მის მიერ გამოვლენილი აფუებისადმი მიდრეკილებით.

2.2. ნაშრომში გამოყენებული კვლევის მეთოდები

კარგადაა ცნობილი, რომ არაორგანული ბუნების სილიკატური ნედლეულის და მის საფუძველზე მიღებული ისეთი მასალების, როგორც ფოროვანი მასალებია, შესწავლისას ხშირად საჭირო ხდება ტრადიციულის

გარდა, სპეციფიკური კვლევის მეთოდების გამოყენება. კვლევის მეთოდებთან მიმართებაში არსებობდა კიდევ ერთი წინაპირობა - ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელებადობა. კვლევის მეთოდების შერჩევა და მათი ჩატარების მეთოდიკების განსაზღვრა-გამოყენება განხორციელდა სპეციალურ (ძირითადად ფოროვან მასალათა მიღება-შესწავლისადმი მიძღვნილი) ლიტერატურაში არსებულ რეკომენდაციებზე დაყრდნობით [63-66].

2.2.1. საკვები ობიექტის ფიზიკური მდგომარეობა და საცრითი ანალიზი

კვლევის ობიექტს წამროადგენდა ბუნებრივი ქანი - ყვარლის ფიქალი, ხოლო საკვლევ სინჯებს ყვარლის ფიქლის წმინდაფრაქციული ულუფები, როდესაც მარცვლების ზომა (δ) 5 მმ-ს არ აღემატებოდა. აღნიშნული ფრაქციულობის შემადგენელი თვითბუნებრივი ქანის ნაყარშიც მოიპოვება და მისი გამოყოფა ნედლეულის საცრითი ანალიზის ჩატარებით განხორციელდა. (საკვლევად იღებოდა №5 საცერში გასული ნედლეული). შემდგომი კვლევისათვის გამოყოფილი წვრილფრაქციული შემადგენლის დამატებითი ხელოვნური დაყოფა ხდება უფრო წმინდაფრაქციულ შემადგენლებზე.

საცრითი ხერხით მასალის სხვადასხვა ფრაქციულობის მისაღებად გამოყენებული იქნა საცერთა ნაკრები, რომელში შემავალი საცრების ნომრები და მასში გასული მასალის ფრაქციულობა წარმოიქმნებოდა მე-10 ცხრილში.

უნდა აღინიშნოს, რომ №0,5 საცერში გასული მასალა კვლევაში არ გამოიყენებოდა, რადგან ის დიდი რაოდენობით შეიცავდა მტვრისებრ შემადგენელს და პრაქტიკული გამოყენებისადმი მიუღებლად მივიჩნიეთ. ყველა ფრაქციულობის მასალა, შემდგომი ექსპერიმენტის ჩატარებისას ან საჰაერო-მშრალ ან საგანგებოდ ხელოვნურად გამომშრალ მდგომარეობაში აიღებოდა, რაც მითითებული იქნება შესაბამისი ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესის აღწერისას.

ცხრილი 10. წვრილმარცვლოვანი ყვარლის ფრაქციად დაყოფისას გამოყენებული საცრები

საცრის ბადის №	საცერზე ნარჩენი მარცვლების ზომა (--), მმ	მარცვლების საშუალო (პირობითი) ფრაქციულობა (--აშ), მმ	შენიშვნა
5	>5	>5	კვლევაში არ გამოიყენება
3	3-დან 5 მმ-მდე	4	კვლევაში შეისწავლება
2	2-დან 3 მმ-მდე	2,5	„-----“
1	1-დან 2 მმ-მდე	1,5	„-----“
0,5	0,5-დან 1 მმ-მდე	0,75	„-----“

2.2.2. ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის ჩატარება

ჩატარებული სამუშაოს მიზნიდან გამომდინარე აფუება ჩატარდა ყვარლის ფიქლის 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციის მარცვლებს, რომლებიც თავის მხრივ ქვეფრაქციებად დაიყო საცრითი ანალიზით. გარკვეული ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის ულუფას ემატებოდა ორგანული ან არაორგანული ბუნების დანამატები: ნამუშევარი ზეთი, ნახერხი, ნახშირის წვრილმანი (ორგანული წარმოშობის ტექნოგენური დანამატი) ან დაფქული დოლომიტი. ასაფუებელი ნარევები შემდეგნაირად მზადდებოდა: ყვარლის ფიქლის აღებული ულუფიდან (100 მას. %) აიღებოდა 15-20 მას.% ეკვივალენტური მასის ნაწილი, რომელსაც განცალკევებულად ემატებოდა დანამატი. ფიქლის გამოყოფილი ნაწილის და დანამატის ურთიერთშერევა ფაიფურის ჯამზე ხელით (შპატელის მეშვეობით) ხდებოდა დაახლოებით 2-3 წთ-ის განმავლობაში. ცალკე შედგენილი ნარევი ემატებოდა ყვარლის ფიქლის ძირითად ულუფას და ისევ შპატელის მეშვეობით ინტენსიურად ხდებოდა საბოლოო შერევის პროცესი (2-3 წთ).

მიღებული ორკომპონენტური ნარევი (კაზმი) თავსდებოდა 250-300 მლ ტევადობის შამოტის ან 350-400 მლ ტევადობის ხურვალმედეგი ლი-

თონისგან დამზადებულ ქოთნებში. კაზმით ქოთნების ბოლომდე შევსება არ ხდებოდა - თერმული დამუშავებისას მოსალოდნელი კაზმის აფუების გათვალისწინებით. კაზმის მიერ ქოთანში დაკავებული მოცულობა მისი სრული მოცულობის 40%-ს არ აღემატება.

კაზმის თერმული დამუშავება 900-1300 °C ტემპერატრულ ინტერვალში ხდებოდა და ამისთვის გამოიყენებოდა კარბორუნდის (სილიტის) დეროებიანი ღუმელი, რომლის ელექტროენერგიით კვებას ორი ცალი 40 ამპერიანი ზეთის ტრანსფორმატორი უზრუნველყოფდა.

ღუმელში ტემპერატურის გაზომვა რეგულირდება TIII ტიპის თერმოწყვილით და მარეგულირებელი პირომეტრული მილივოლტმეტრით. კაზმიანი ქოთანი ღუმელის ძირის შუაში განლაგდებოდა (სტაბილურ ტემპერატურათა უბანი), სადაც მოთავსებული იყო თერმოწყვილის სამუშაო ბოლო.

თერმულად დამუშავებული მასალიანი ქოთანი გამოიღებოდა ღუმლიდან და ცივდებოდა ჰაერზე, რის შემდეგ ქოთანის შიგთავსი შემდგომი კვლევებისთვის მომზადებას განიცდიდა: ქუცმაცდებოდა და საცრითი ანალიზით სასურველ ფრაქციებად დაიყოფოდა.

2.2.3. მოცულობითი მასის (ნაყარი სიმკვრივე) და აფუების კოეფიციენტის განსაზღვრა

სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის ნედლი და აფუებული მასალებისათვის მოცულობითი მასის განსაზღვრა განხორციელდა ბუნებრივი სინესტის მქონდე მასალებისთვის. ამისთვის განისაზღვრა მზომ ცილინდრში განსხვავებული ფრაქციულობის მასალის წონა. ამისათვის წინასწარ აწონილ მზომ ცილინდრში 10 სმ-ის სიმალიდან იყრებოდა საცდელი ფრაქციულობის მასალა და ეს პროცესი ჭურჭლის გადავსებამდე მიმდინარეობდა (წარმოიქმნებოდა მასალის კონუსური „ქუდი“). მასალის ჭარბი რაოდენობის („ქუდი“) მოხსნა და ზედაპირის დონეზე დაყენება რკინის სახაზავის გადატრიალებით ხდებოდა. ამის შემდეგ მასალიანი

საზომი ჭურჭელი იწონებოდა, ხოლო გათვლისას შემდეგი ფორმულა იქნა გამოყენებული:

$$\gamma_{\text{გრ}} = \frac{g_2 - g_1}{V} \cdot 1000 \quad \text{კგ/მ}^3$$

სადაც

g_1 და g_2 , შესაბამისად, მზომი ჭურჭლის და მასალით სავსე ჭურჭლის წონებია (გ);

V - მზომი ცილინდრის მოცულობა, სმ³.

ყველა ფრაქციულობის მასალისათვის ცდის განმეორებადობა სამჯერადი იყო.

აფუების კოეფიციენტის დასადგენად გამოყენებული იქნა ექსპერიმენტალურად მიღებული $\gamma_{\text{გრ}}$ -ის მნიშვნელობები, რომელიც დადგენილი იქნა ცალ-ცალკე შესაბამისი ფრაქციულობის ნედლი (საწყისი) ქანისათვის და თერმულად დამუშავებული მასალისათვის. აფუების კოეფიციენტის გათვლა, გარკვეული ფრაქციულობის მასალებისათვის, განხორციელდა შემდეგი ფორმულის საფუძველზე:

$$K_{\alpha} = \gamma_{\text{გრ II}} / \gamma_{\text{გრ I}}$$

სადაც

$\gamma_{\text{გრ I}}$ და $\gamma_{\text{გრ II}}$,

შესაბამისად, საწყისი და აფუებული მასალის ნაყარი სიმკვრივეებია, კგ/მ³.

2.2.4. საკვლევი მასალების წყალშთანთქმის უნარის დადგენა

საცრითი ანალიზით მიღებული სხვადასხვა ფრაქციულობის მასალები (როგორც ბუნებრივი ქანის, ასევე თერმოდამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალების) საშრობში 180 °C-ზე 0,5 საათიანი დაყოვნების შემდეგ, გადაიტანებოდა სილიკონგელიან ექსტრაქტორში, სადაც ინახებოდა თავდახურულ მინის ჭურჭელში. გამოსაკვლევი ნიმუში, წინასწარ წინადადგენილი წონილის სახით (მასა 2-3 გრ) გადაიტანებოდა მშრალ, წინასწარ აწონილ ფერფორირებულ ორნაწილიან გასახსნელ კონტეინერში. კონტეინერის წინა

წინასწარ ისაზღვრებოდა . მასალის და კონტეინერის აწონვის სიზუსტე $\pm 0,01$ გ-ს შეადგენდა, რისთვისაც გამოიყენებოდა ტექნიკური ჯამიანი სასწორი და წონაკები. მასალიანი კონტეინერი, აწონვის შემდეგ, გადაიტანებოდა ოთახის ტემპერატურის მქონე წყალში(წყლიან ჭურჭელში) და ფიქსირდებოდა საკიდზე იმ პირობით, რომ კონტეინერის ზედა კიდე წყალში არანაკლებ 20-მმ უნდა ყოფილიყო ჩაღრმავებული. ასეთ მდგომარეობაში მყოფი მასალის წყალში დაყოვნების დრო 24-დან 36 საათამდე შეადგენდა. წყალში დაყოვნებული მასალა (კონტეინერთან ერთად) , წყლიდან ამოღების შემდეგ მყისიერად უძრავად იდგმებოდა 10-15 წუთით ბამბის ქსოვილის ნაჭერზე განთავსებულ ბადისებრ სადგარზე. კონტეინერიდან წყლის ჩამოწურვის შემდეგ, მასალიანი კონტეინერი კვლავ იწონებოდა. წყალშთანთქმის უნარი გაითვლებოდა გარკვეული მასის მშრალი მასალის და წყალში ნამყოფი მასალის მასათა სხვაობიდან გამომდინარე:

$$W_{წყ} = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1} \cdot 100\%$$

სადაც:

m_1 - კონტეინერის მასა, გ ;

m_2 - კონტეინერის და მშრალის მასალის ჯამური მასა, გ;

m_3 - კონტეინერის და წყლით გაჯერებული მასალის ჯამური მასა, გ;

2.2.5. აფუებული მასალის ფორიანობის განსაზღვრა

აფუებული მასალის ფორიანობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\gamma_{ფორ} = (\gamma_{მოც} / \gamma_{ხვ}) \cdot 100\%$$

სადაც:

$\gamma_{ფორ}$ - მასალის მოცულობითი წონა, კგ/მ³ .

$\gamma_{ხვ}$ - მასალის ხვედრითი წონა, კგ/მ³ .

ფორმულის შინაარსიდან გამომდინარე , საჭირო ხდება ორი სიდიდის დადგენა: მოცულობითი წონის ($\gamma_{მოც}$) და ხვედრითი წონის ($\gamma_{ხვ}$).

მოცულობითი წონის განსაზღვრის მეთოდი მსგავსებას ავლენს წყალშთანთქმის დადგენის მეთოდთან, მაგრამ არსებობს განმასხვავებელი თავისებურებებიც:

- მოცულობითი წონის განსაზღვრისას გამოიყენება წინასწარ გამომშრალი მასალა, მაგრამ საცდელი ნაწილაკების ზომა 5მმ-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს;
- ექსპერიმენტში გამოიყენება პერფორირებული სახურავიანი კონტეინერი, რომელიც წინასწარ იწონება ჯერ ჰაერში, ხოლო შემდგომ წყალში;
- ღორღით სავსე კონტეინერს ჯერ ჰაერზე, ხოლო შემდგომ არა ნაკლები 2 საათით წყალში ათავსებენ;
- მასალის წყლით გაჯერების (გაჟღენთვის) შემდეგ მასალიანი კონტეინერი ჯერ ჰაერზე, ხოლო შემდგომ წყალში იწონება.

საცდელი მასალის მოცულობითი წონა გამოითვლება, შემდეგი ფორმულის საფუძველზე:

$$\gamma_{\text{მოც}} = \frac{g_0 \cdot \gamma_{\text{სით}}}{(g_3 - g_1) - (g_4 - g_2)} \text{ გ/სმ}^3$$

სადაც:

- g_0 - მშრალი მასალის საცდელი სინჯის წონა (გ);
- g_1 და g_3 - მშრალი(ცარიელი) კონტეინერის წონაა ჰაერზე და წყალში (გ);
- g_2 და g_4 - საცდელი ნიმუშიანი კონტეინერის წონაა ჰაერზე და წყალში (გ);

ხვედრითი წონის $\gamma_{\text{ხვ}}$ ანუ ჰემმარიტი სიმკვრივის განსაზღვრა პიკნომეტრული მეთოდით განხორციელდა. ამისთვის მშრალი საცდელი მასალა ღრმად დაქუცმაცდა ჯერ ფაიფურის, ხოლო შემდგომ აქატის მექანიკურ ფილაში 0063 ბადის მქონე საცერში გასვლამდე. ცდის ჩატარებისათვის გამოყენებული 50 სმ³-ანი პიკნომეტრები იწონებოდა ელექტრულ სასწორებზე $\pm 0,002$ გ სიზუსტით. პიკნომეტრში მასალის დაახლოებით 5 გრამიანი წონილის მოთავსების შემდეგ, პიკნომეტრი კვლავ იქნა აწონილი, შემდეგ პიკნომეტრი ნახევრად შეივსო დისტილირებული წყლით, პიკნომეტრს ჩაუტარდა ვაკუუმირება ვაკუუმ-ექსიკატორში და შეივსო ასევე დეგაზირებული სითხით პიკნომეტრის ნიშნულამდე (ნაკაწრამდე). თერმოსტატირების შემდეგ ($20 \pm 0,1$) პიკნომეტრი (საცდელი წონით და წყლით სავსე) ისევ იწონება მიღებული სიზუსტით.

მასალის ჭეშმარიტი სიმკვრივე ($\gamma_{\text{ზ}}, \text{გრ/სმ}^3$) გაითვლება ($0,001 \text{ გ/სმ}^3$ სიზუსტით) და ამისათვის ცნობლი ფორმულა იქნა გამოყენებული:

$$\gamma = (m_0 \cdot \gamma_{\text{ზ}}) / [m_0 - (m_1 - m_2)]$$

სადაც:

m_0 - სინჯის (წონილის) მასაა, გ;

m_1 და m_2 - შესაბამისად ცარიელი და წყლით შევსებულ მდგომარეობაში მყოფი პიკნომეტრის მასაა, გ;

m_3 -ცარიელი პიკნომეტრის მასაა, გ;

$\gamma_{\text{ზ}} = 0,998 \text{ გ/სმ}^3$ ($20 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) - სათვის წყლის სიმკვრივეა.

2.2.6. კუმშვაზე სიმტკიცის და წყალმედვეობის დადგენა

კუმშვაზე სიმტკიცის დასადგენად წინასწარ გამომშრალი ($180 \text{ }^\circ\text{C}$, 30 წუთიანი დაყოვნება) მოთავსდა საცდელი ყალიბის ლითონის ცილინდრული (დიამეტრი 75მმ) ნაწილში - მატრიცაში იმ დონემდე, რომ პუანსონის ქვედა საზომი ნაკაწრი ზუსტად ემთხვეოდეს ცილინდრული მატრიცის პირს. სხვა შემთხვევაში ხდება მასალის დამატება ან ამოკლება. საცდელი ყალიბი თავსდება წნეხის ფილებს შორის და წნეხის მოქმედებით ხდება წნეხის მუშაობა და წნეხის მაჩვენებელზე აითვლება ძალის სიდიდის ათვლა.

ანგარიში ტარდება შემდეგი ფორმულით:

$$\delta_3^{\text{მმ}} = P/F \text{ კგ,ძ/სმ}^2$$

δ_3 - ფორიანი მასალის კუმშვაზე სიმტკიცეა, კგ/სმ² ;

P - წნეხის პროცესში განვითარებული ძალაა, კგძ;

F - პუანსონის დიამეტრია, სმ².

მასალის წყალმედვეობის განსაზღვრა მოითხოვს ე.წ. გარბილების კოეფიციენტის დადგენას: $K \text{ გარბ} = \delta_3^{\text{სპ}} / \delta_3^{\text{მმ}}$, რაც ორ მდგომარეობაში მყოფი

მასალის სიმტკიცეთა ფარდობაა: $\delta_3^{\text{სპ}}$ წყლით გაჯერებული, ხოლო $\delta_3^{\text{მმ}}$ მშრალი მასალის კუმშვაზე სიმტკიცეა.

2.2.7. საკვლევი მასალების რენტგენოფაზური და თერმული ანალიზისას გამოყენებული მიდგომები

ექსპერიმენტის მსვლელობისას საჭიროდ იქნა მიჩნეული საკვლევი მასალის (ნედლეულის) და მისი თერმული დამუშავებით მიღებული პროდუქტის შესწავლა, მათში მიმდინარე გარდაქმნების დასადგენად. აღნიშნულის მიზნით გამოყენებული იქნა ზოგადად სილიკატური მასალების შესწავლისთვის რეკომენდირებული კვლევის მეთოდები [56-65].

თერმული ანალიზი: გამოყენებულ იქნა საწყის მასალაში მიმდინარე ისეთი ფიზიკური გარდაქმნების შესასწავლად, რომელთაც თან ახლავს თბური ეფექტები. თერმული ანალიზი ჩატარდა „ჰაულიკ, ჰაულიკ, ერდერის“ სისტემის დერივატოგრამზე 20-1000 °C ინტერვალში, მასალის - 250-320 მგ მასის ულუფებზე.

მასალის ორი ძირითადი თვისების - სითბური ენერჯის და წონის ცვლილების გაზომვებში ტემპერატურის ზრდა (ტემპერატურის აწევის სიჩქარე) შეადგენდა 100C /წთ. შედეგების შეფასებისას გამოყენებული იქნა ის მიდგომები და რეკომენდაციები, რომლებიც მოყვანილია შესაბამისი თემატიკის ლიტერატურაში [69-75].

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი გამოყენებულ იქნა, როგორც საწყისი ნედლეულის - ფიქალის, ასევე მისგან თერმული დამუშავებით მიღებული მასალების ფიზიკურ შედგენილობათა დასადგენად. მასალათა რენტგენოფაზური ანალიზი განხორციელდა DPOH – 1.5 დანადგარზე, ფხვნილის გამოყენებით, რომელიც ეფუძნება გამოსხივების რეგისტრაციის იონიზაციურ მეთოდს და მინერალის სახეობის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა, მათი მასალაში 2-3%-იანი შემცველობისას.

კრისტალურ ფაზათა სახეობების დადგენა განხორციელდა შესაბამის ლიტერატურაში არსებულ რეკომენდაციათა გათვალისწინებით. [69, 72, 74, 76-80].

2.3. ორგანული ბუნების ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის დინამიკური რეჟიმით ჩატარებულ თერმოაფუებაზე

როგორც აღინიშნა ლიტერატურის მიმოხილვაში ფორიან არაორგანულ მასალებს განსაკუთრებული ადგილი უკავიათ ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა სამშენებლო საქმე, თბოტექნიკა, აგროინდუსტრია, ქიმიური მრეწველობა და სხვა.

სანედლეულო ბაზის მიმართებაში შეიძლება აღინიშნოს, რომ ფორიანი არაორგანული მასალების მიღება შესაძლებელია მრავალი სახის ნედლეულიდან, რომლებიც საქართველოშიც მოიპოვება. ამ მხრივ შეიძლება გამოიყოს ისეთი მინისებრი და კრისტალური ბუნების წყალშემცველი ქანები, როგორცაა პერლიტები, ობსიდიანები, თიხოვანი მასალების რიგი სახეობა და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ ბოლო წლებში ყურადღება ექცევა და აქტიურად განიხილება ყვარლის ადგილმდებარეობის ფიქლების სამრეწველო გამოყენების საკითხი, რაც პირველ რიგში უკავშირდება რეგიონალურ ეკოლოგიურ პრობლემებს და სანედლეულო ბაზრის გაფართოვებას. ამ მხრივ საგულისხმოა ის სამუშაოები, რომლითაც დადასტურდა ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა 1200-1300°C ინტერვალში თერმული დამუშავების გზით, რომლისათვის შედგენილია წარმოების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა (ნახ. 1).

ამ სქემაში ყურადღებას იქცევს ის გარემოება, რომ ყვარლის ფიქლის მსხვრევის შემდეგ წარმოიქმნება 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის მარცვლები, რომლებიც გამოიტანება ტექნოლოგიური პროცესიდან და ნაყარის სახის ნარჩენს წარმოადგენს. ამის მიზეზი კი ის გარემოებაა, რომ ე.წ. ქვიშის ფრაქციულობის (0,5-5 მმ) მარცვლები თერმული დამუშავებისას ადრეულად განიცდიან შეცხოვას და გამინებას, მათი მაღალი ტემპერატურული დამუშავებისას.

აღნიშნული, თავის მხრივ, შემფერხებელი ფაქტორი ხდება შედარებით მსხვილი ფრაქციულობის (წმინდა და მსხვილი ღორღის ან ხრემის , ე.ი. 40 მმ ფრაქციები) ნატეხების მიღების პროცესისათვის.

აქედან გამომდინარე, ჩვენ გადავწყვიტეთ გვეშუავე 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის მარცვლებზე და შეგვესწავლა მათი აფუების პროცესი შესაბამისი დინამიკური რეჟიმით თერმული დამუშავებით, რაც განხორციელდა ტემპერატურათა ზრდის ერთსაფეხურიანი რეჟიმით, როდესაც ღუმელში, ოთახის ტემპერატურიდან აფუების ტემპერატურათა ზრდის გრადიენტი $\approx 10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$ -ში შეადგენდა.

ექსპერიმენტთან დაკავშირებით უნდა აღინიშნოს, რომ საცრული ანალიზით ფრაქციებად დაყოფილი მასალა დანამატებთან ერთად არეული, მოთავსდებოდა შამოტის ქოთნები იდგმებოდა „ცივ“ ელექტროგამახურებლიან ღუმელში (ე.წ. სილიტის ღუმელი), რომელშიც ტემპერატურა 1200°C - 1250°C -მდე (ცდების მაქსიმალური ტემპერატურა) აიყვანებოდა დაახლოებით 2 სთ-ის განმავლობაში, ხოლო ცდის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე მასალის დაყოვნება 10-15 წუთის განმავლობაში ხდებოდა. თერმულად დამუშავებული მასალა (ქოთანში მოთავსებული) გამოიტანებოდა ღუმელთან და ცივდებოდა ჰაერზე. ცივი ქოთანი საჭიროების შემთხვევაში იმსხვრეოდა ხელოვნურად და მიღებულ თერმულად დამუშავებულ ფორიანა მასა გამოიყენებოდა შემდგომი ცდებისათვის.

კვლევის ობიექტთან – ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვან ფრაქციებთან ქვიშასთან მიმართებაში დაგეგმილი იქნა ექსპერიმენტი, რომელიც მიზნად ისახავდა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის მასალის აფუებისადმი მიდრეკილების შესწავლას. მასალაში საცრითი ანალიზით შემდეგი ოთხი ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის მარცვლები:

$$\delta = 0,5 - 1 \text{ მმ (} \delta_{\text{ს.შ.}} = 0,75 \text{ მმ - ქვიშა წმინდა)}$$

$$\delta = 1 - 2 \text{ მმ (} \delta_{\text{ს.შ.}} = 1,5 \text{ მმ - ქვიშა საშუალო)}$$

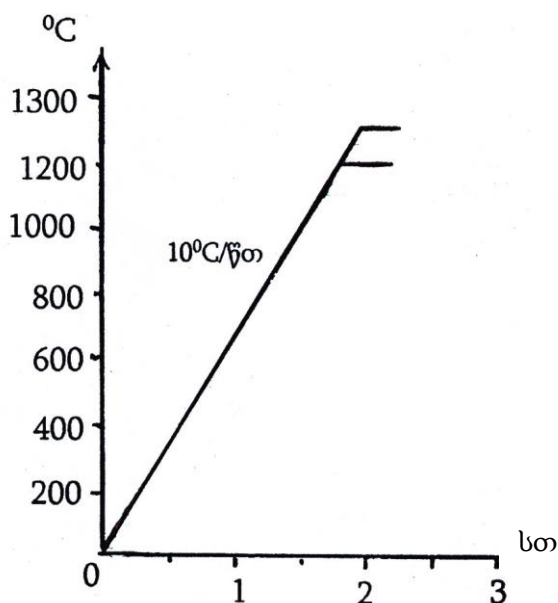
კვლევისათვის აღებული ყვარლის ფიქლის სინჯის ქიმიური შედეგნი-
ლობა მოყვანილია ცხრ. 11-ში.

$$\left. \begin{array}{l} \delta^I = 2 - 3 \text{ მმ} \\ \delta^{II} = 3 - 5 \text{ მმ} \end{array} \right\} (\delta^I = 2,5 \text{ მმ და } \delta^{II}_{\text{საშ}} = 4 \text{ მმ - ქვიშა მსხვილი)}$$

ცხრილი 11. ყვარლის ფიქლის საკვლევი სინჯის ქიმიური შემადგენლობა

ოქსიდების შემცველობა, წონ. %							ხურების (ვარვარების) დანაკარგი
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	$Na_2O + K_2O$	SO_3	Fe_2O_3 +FeO	
57,6	19,4	1,3	2,9	4,7	0,9	7,2	6,0

ყვარლის ფიქლის დანამატად აღებული იქნა სამი სახის ორგანული
ბუნების, ხოლო თავისი არსით – ტექნოგენური, მასალა. კერძოდ კვლევაში
გამოყენებულია დამუშავებული (ამორტიზირებული) მანქანის ზეთი (შემდ-
გომში „ზეთი“), ნახერხი და ნახშირი (ქვანახში) ტყიბულის საბადოდან.

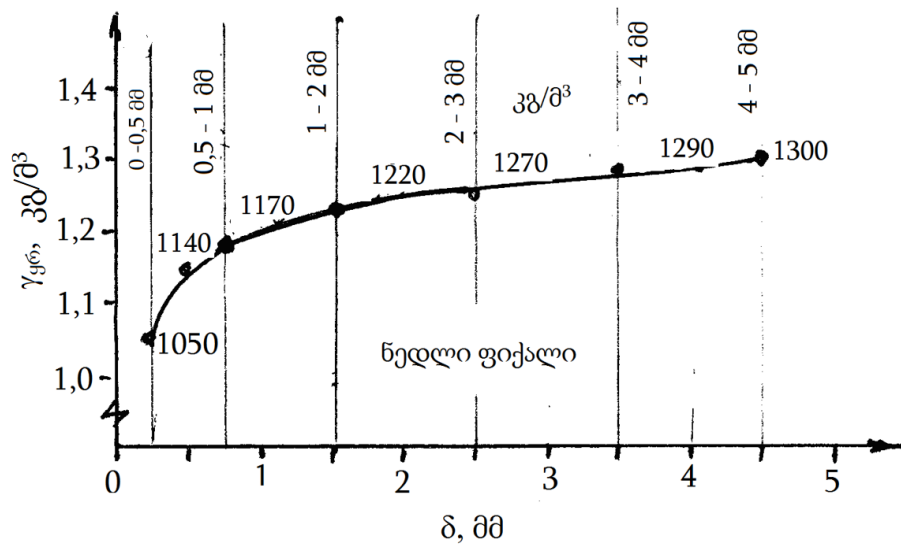


ნახ. 2. მასალათა თერმული დამუშავების გრაფიკი ტემპერატურათა
უწყვეტი ზრდის რეჟიმში

ორგანული დანამატები 1–5 წონ. %-ის ოდენობით, ძირითად ბუნებრივ
მასალას-ფიქალს, ემატებოდა 100%-ს ზევით, რის შემდეგაც მზადდებოდა

ნარევი 2-3 წუთის განმავლობაში შპატელით ინტესიური არევის ხარჯზე. ნახშირი და ნახერხის ფრაქციულობა შეესატყვისებოდა 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის (გასული საცერში №5). უკვე აღწერილი დინამიკური რეჟიმით თერმულად დამუშავებული ნარევები იყოფოდა საცხითი ანალიზით ფრაქციებად და მათ განესაზღვრებოდა ნაყარი მოცულობითი წონები, რათა დაგვედგინა აფუების ხარისხი და გამოგვევლინა ორგანული დანამატის ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც უზრუნველყოფდა აფუების ხარისხის მაქსიმალურ მნიშვნელობას.

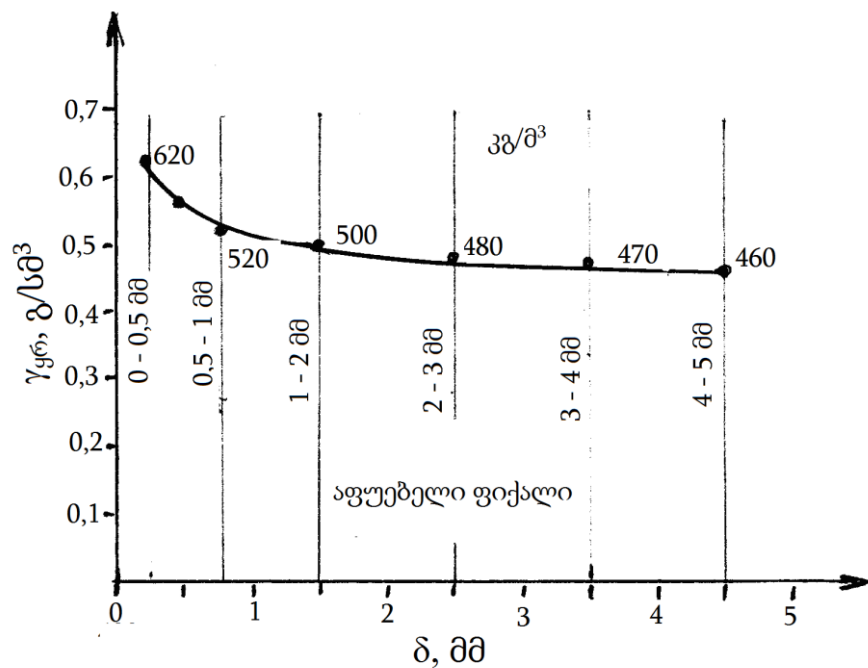
ექსპერიმენტის მიმდინარე ეტაპზე განხორციელდა კვლევა, რომლის საწყის ეტაპზე განისაზღვრა ნედლი (საკვლევად შერჩეული ბუნებრივი) და 1200°C-ზე თერმული დამუშავებით მიღებული სუფთა (დანამატების გარეშე) ფიქალის ნაყარი მოცულობითი წონები (მასები) საკვლევად შერჩეული იქნა წვრილი ფრაქციული (5 მმ-მდე) და ფართო ფრაქციულ სპექტრში დაყოფილი ყვარლის ფიქალი. კვლევის შედეგებით შედეგები წარმოდგენილია ნახ.3 და ნახ.4-ზე.



ნახ.3. ნედლი ფიქალის ფრაქციულობის გავლენა ნაყარის მოცულობით წონაზე

როგორც ნედლი, ასევე ტემპერატურის დინამიკური აწევის რეჟიმით თერმულად აფუებული მასალისათვის, ფიქსირდება ნაყარი მოცულობითი

წონების ($\gamma_{\text{ფრ.}}$) ცვლილება მასალის ფრაქციულობასთან მიმართებაში. მაგრამ, როგორც წარმოდგენილი გრაფიკული მასალიდან ჩანს, ფრაქციულობის ზრდა განსაზღვრავს γ -ს სიდიდეთა ზრდას 1050-დან 1300 კგ/მ³-მდე ნედლი ბუნებრივი ქანისათვის და პირიქით, აფუებული (დანამატების გარეშე) ფიქალის ნაყარი მოცულობითი წონების კლება აღინიშნება 620-დან 460 კგ/მ³-მდე. აქედან, შეიძლება ზოგადი დასკვნის გაკეთება, რომ ფიქალის მონოკაზმის აფუება მით უფრო ძლიერია, რაც მეტია ასაფუებლად აღებული მასალის ფრაქციულობა (მარცვლების ზომა).



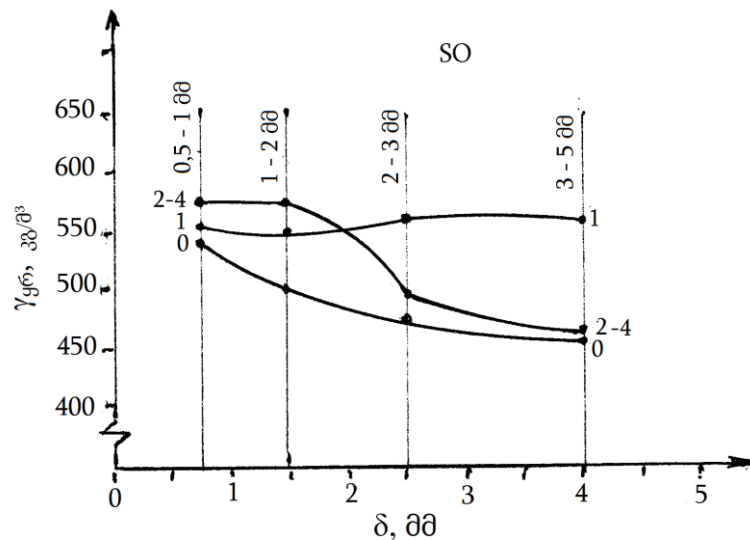
ნახ.4. ტემპერატურის უწყვეტი ზრდის რეჟიმით მიღებული აფუებული ფიქალის ნაყარი მოცულობითი წონის დამოკიდებულება მასალის ფრაქციულობაზე

სამი სახის დანამატად აღებული ორგანული ნივთიერებებიდან და ყვარლის ფიქალიდან შედგენილი იქნა სამი სახის კომპოზიცია:

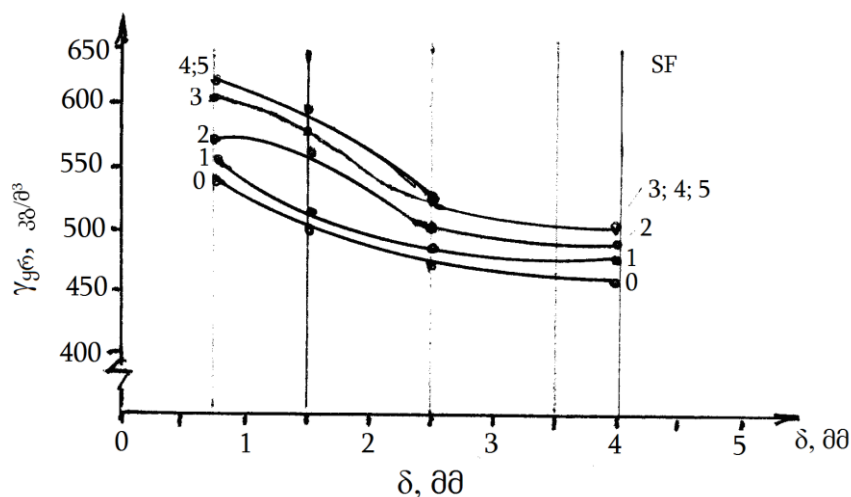
- ფიქალი + ზეთი (სერია SO)
- ფიქალი + ნახერხი (სერია SF)
- ფიქალი + ნახშირი (სერია SC).

ტემპერატურის აწევის დინამიკური რეჟიმის პირობებში, ოთხი სახის სხვადასხვა ფრაქციულობის ფიქალზე ორგანული დანამატების გავლენა წარმოდგენილია ნახ.5-ნახ.7.

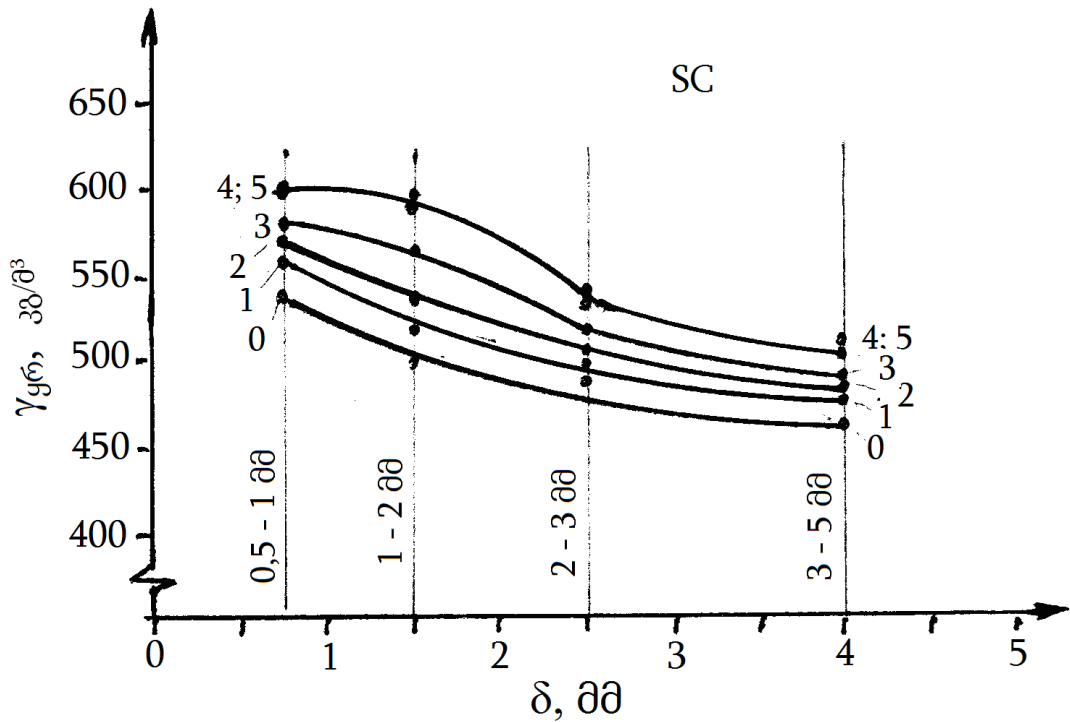
გრაფიკულ მასალაზე შესაბამისი სერიის მრუდის ამსახველი რიცხვი (ნომერი) აღნიშნავს ნარევი წარმოდგენილი დანამატის რაოდენობას (0- „სუფთა“ ფიქალი; 1, 2, 3, 4, 5 - შესაბამისი დანამატის რაოდენობას წონ.%-ში, ფიქლის 100 წონ.%-ს ზევით).



ნახ. 5. ზეთის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქალის ნაყარ მოცულობით წონაზე



ნახ. 6. ნახერხის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე



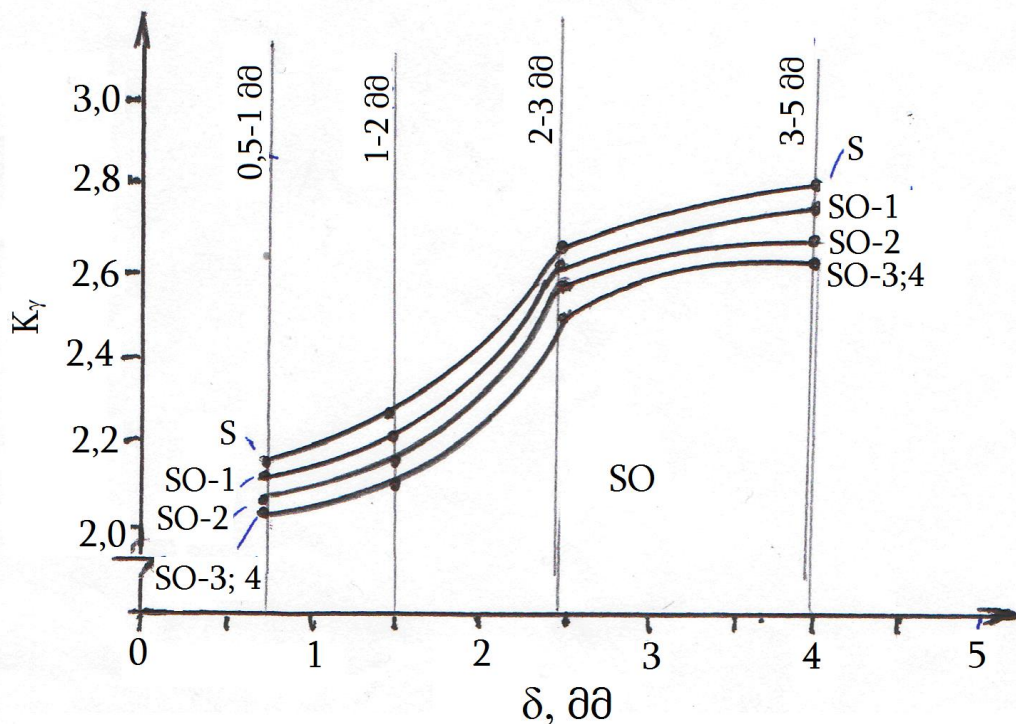
ნახ.7. ნახშირის დანამატის რაოდენობის გავლენა დინამიკური რეჟიმით აფუებული ყვარლის ფიქალის ნაყარ მოცულობით წონაზე

ნახ.5, ნახ.6 და ნახ.7-ზე წარმოდგენილი ექსპერიმენტით მიღებული შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ორგანული დანამატის სახეობათა გავლენა ყვარლის ფიქლის, ტემპერატურის უწყვეტი ზრდის (დინამიკური) რეჟიმით მიღწეული, აფუების პროცესზე, განსხვავებულია. კერძოდ, ზეთის შემთხვევაში (სერია SO) ეფექტურია 2-4 წონ%-ის ზეთის დამატება, რადგან ამ შემთხვევაში შეიმჩნევა ნაყარი მოცულობითი წონების მკვეთრი კლება (აფუების ხარისხის ზრდა), განსაკუთრებით 2-5 მმ ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალისათვის (ნახ. 5, მრუდები 2-4).

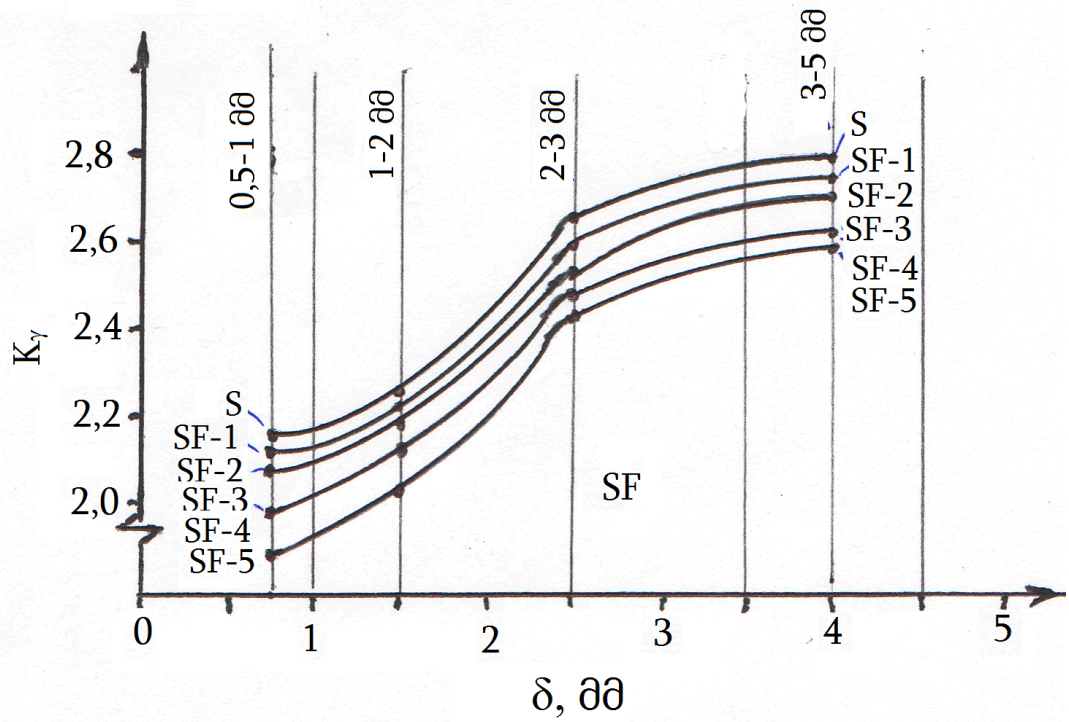
სხვა ორი სახის დანამატის შემთხვევაში (სერიები SF და SC), ნახერხის და ნახშირის რაოდენობათა ზრდა განაპირობებს ნაყარი მოცულობითი წონების კლებას და ამასთან ფიქსირდება ტენდენცია - რაც მეტია ძირითადი ნედლეულის - ფიქალის გრანულომეტრია, მით უფრო დაბალი ნაყარი მოცულობითი წონის აფუებული მასალის მიღების შესაძლებლობა იქმნება (ნახ. 6 და 7).

უფრო მკაფიო სურათს იძლევა აფუების კოეფიციენტის გათვლის შედეგები ($K_{\gamma} = \gamma_{ნარ.}/\gamma_{საწყ.}$), რაც სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალის და დანამატის რაოდენობის (შემცველობის) პირობისათვის წარმოდგენილია ნახ. 8-9-ზე. აქ სამივე სერიის (SO, SF და SC) კომპოზიციებისათვის შემდეგი ტენდენცია დაფიქსირდა:

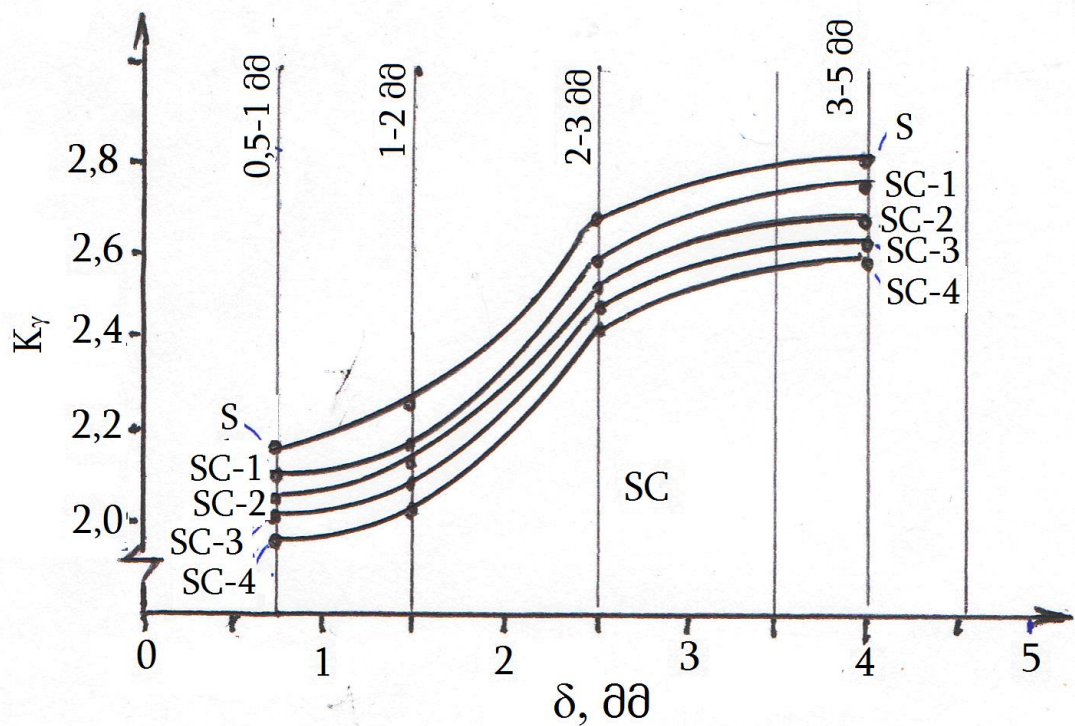
- ყვარლის ფიქალის მარცვლების გრანულომეტრიის ზრდა განსაზღვრავს აფუების კოეფიციენტის მკვეთრ ზრდას 0,5 – 2 მმ ზომის მარცვლების შემთხვევაში;
- მარცვლების გრანულომეტრიის შემდგომი ზრდა (2 – 5 მმ) იწვევს აფუების კოეფიციენტის ზრდას, მაგრამ ეს ტენდენცია ნაკლებად ეფექტურია;
- ზოგადად ფიქსირდება და შეიძლება გამოიყოს ის ფაქტი, რომ დანამატების რაოდენობათა ზრდა ყველა შემთხვევაში მეტ-ნაკლებად ამცირებს აფუების კოეფიციენტის სიდიდებს.



ნახ. 8. ზეთის დანამატის რაოდენობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალის აფუების კოეფიციენტზე.

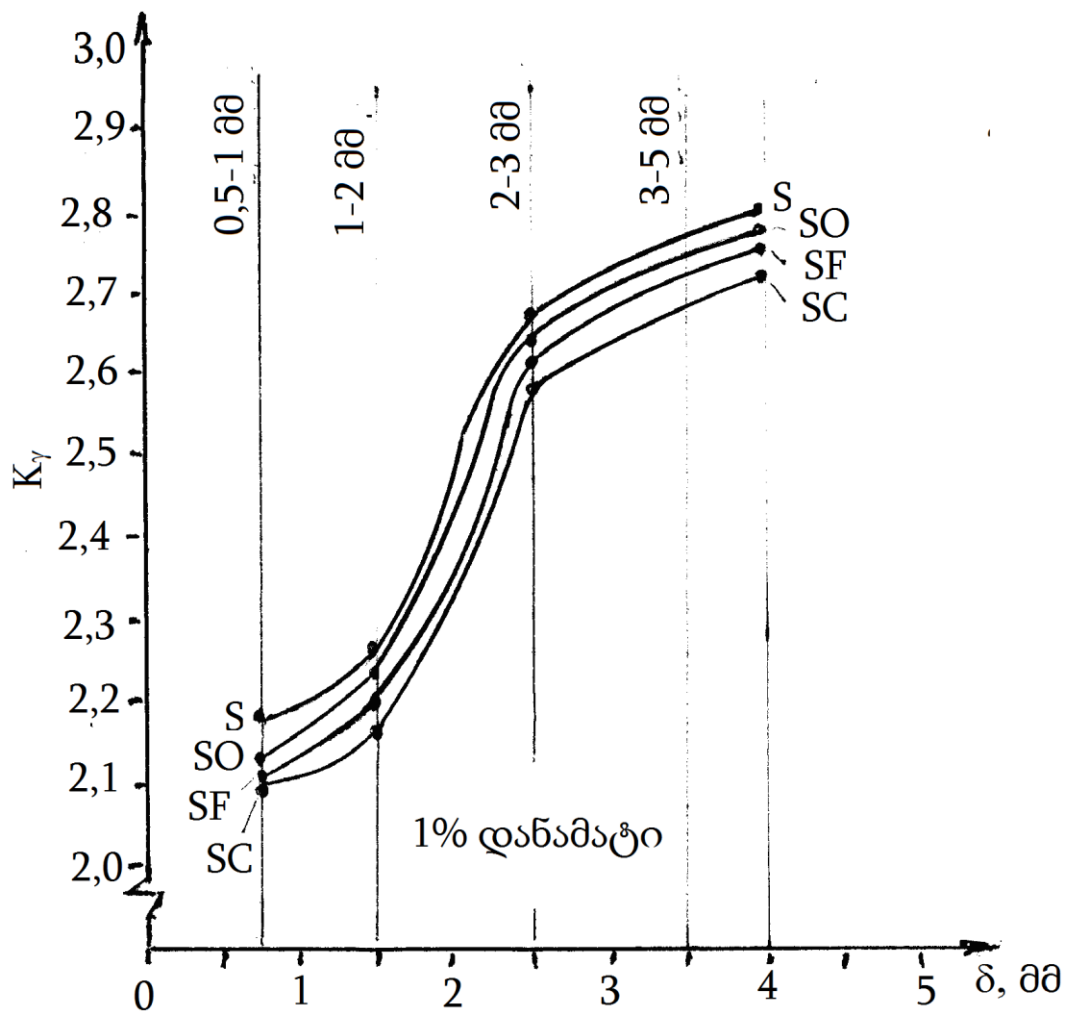


ნახ. 9. ნახერხის დანამატის რაოდენობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალის აფუების კოეფიციენტზე



ნახ.10. ნახშირის დამატების გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალის აფუების კოეფიციენტზე.

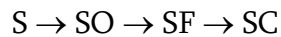
ექსპერიმენტმა აგრეთვე აჩვენა, რომ აფუების ხარისხზე გარკვეულ ზეგავლენას ახდენს დანამატის სახეობა, რაც ნათლად ჩანს ნახ. 11-ზე წარმოდგენილი გრაფიკული მასალიდან. საწყისი ყვარლის ფიქლის (მრუდის ინდექსი S) აფუების კოეფიციენტი მეტია, ვიდრე დანამატების მონაწილეობით შედგენილი ნარევებისთვის იქნა მიღებული (მრუდები SO, SF და SC), რაც ნახ. 11-ზე მოყვანილია 1%-ანი დანამატის შემთხვევისათვის.



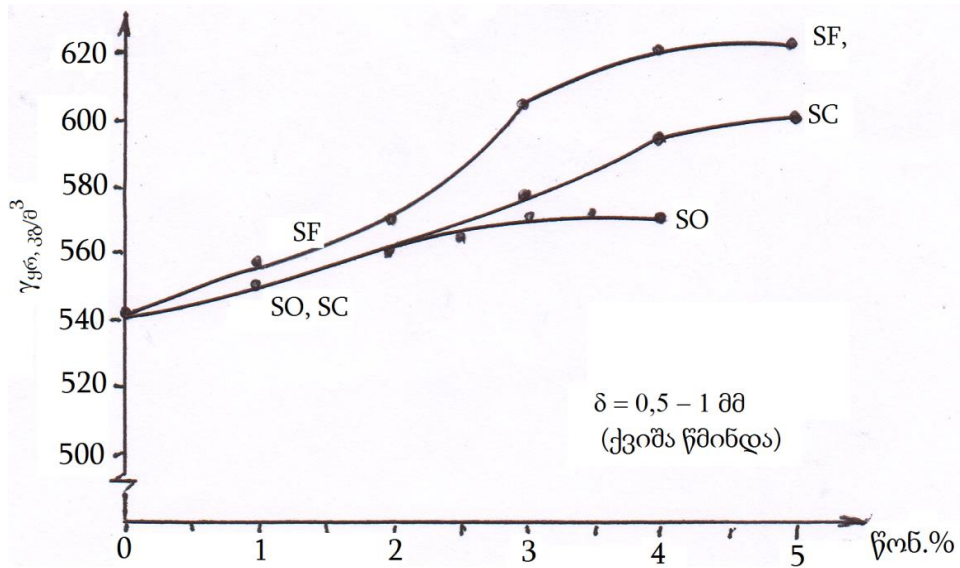
ნახ. 11. ორგანული დანამატის (1%) სახეობის გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტზე.

კვლევის შედეგების განზოგადებით გამოიკვეთა შემდეგი გარემოება: ყვარლის ფიქლის, თერმული დამუშავების დინამიკური რეჟიმისათვის, აფუების შესწავლით დადგინდა, რომ საკვლევი მასალის ფრაქციულობის

ფართო სპექტრისათვის (0,5 – 5 მმ) დანამატების ეფექტურობის დონე შემდეგი მწკრივით შეიძლება წარმოვიდგინოთ:



მოყვანილ მწკრივში წინამდებარე დანამატი უფრო ეფექტურად მოქმედებს აფუების პროცესზე, ვიდრე მომდევნო, ანუ სუფთა ფიქალი უკეთესად ფუვდება, ვიდრე დანამატიანი კომპოზიცია და ამასთან, ყველაზე კარგი შედეგი მიიღება ზეთის დანამატიან კომპოზიციაში; ამავე დროს სუსტიდონის აფუებას ადგილი აქვს ნახშირის შემთხვევაში. (კომპოზიცია SC)

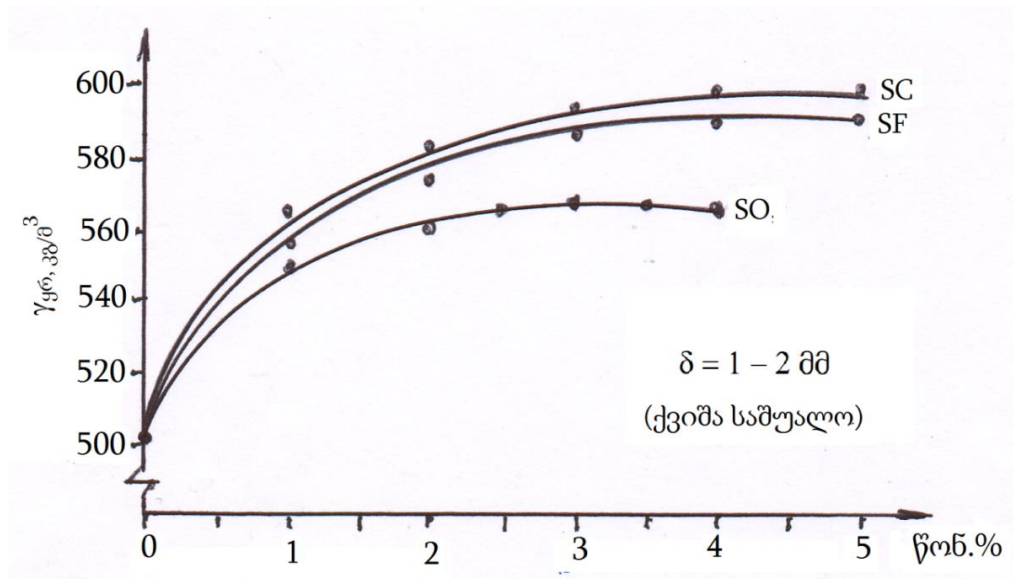


ნახ. 12. ორგანული ბუნების დანამატთა რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის წმინდა ფრაქციის ($\delta = 0,5-1$ მმ) აფუების კოეფიციენტზე

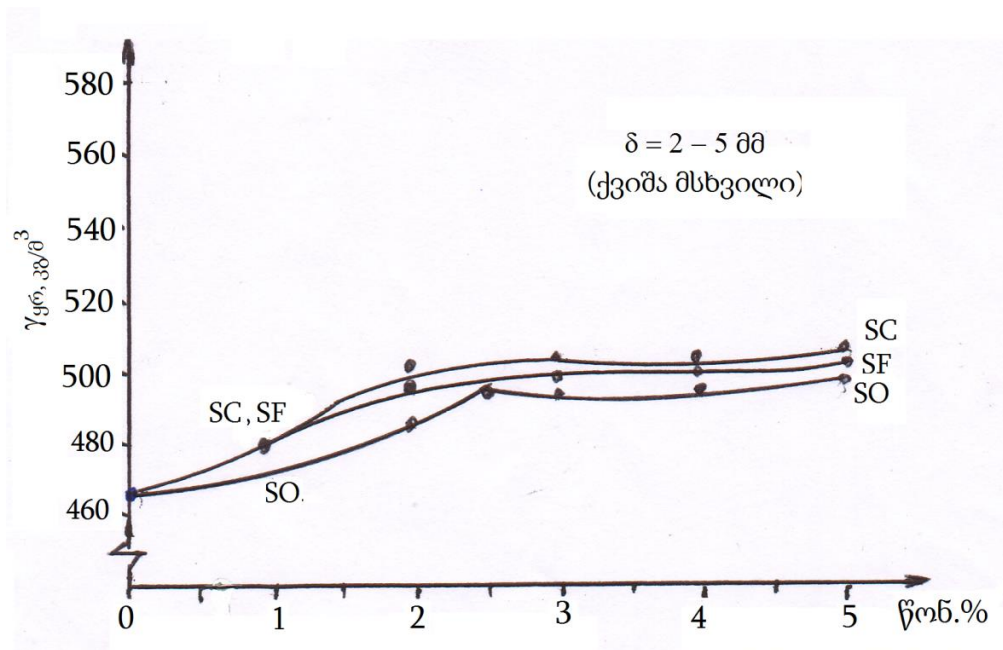
აღნიშნული შედეგები ნათლად ჩანს ნახ.12 – 14 წარმოდგენილი გრაფიკული მასალიდან, სადაც წარმოდგენილი ნაყარი მოცულობითი წონის და დანამატის რაოდენობათა ურთიერთდამოკიდებულება, სხვადასხვა ფრაქციულობის მასალებისათვის. ყველა შემთხვევისათვის SO მრუდები განლაგებულია γ_s -ის უფრო დაბალ მნიშვნელობების ზონაში (ისინი უკეთესად ფუვდებიან), ვიდრე SF და SF სერიების შედგენილობები.

უნდა აღინიშნოს ერთი, ჩვენი აზრით მნიშვნელოვანი ფაქტი, რომელიც ეხება აფუებული მასალის ფიზიკურ მდგომარეობას, კერძოდ შეცხოების ხარისხს. ტემპერატურის ზრდის დინამიკური რეჟიმისათვის SO-სერიის აფუ-

ეზული მასალა (დანამატი - ზეთი) მკვრივად შეცხობილია, ხოლო SF და SC (დანამატი - ნახერხი და ნახშირი) ნაკლებად შეცხობილი.



ნახ. 13. ორგანული ბუნების დანამატთა რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის საშუალო ფრაქციებზე (δ = 1 - 2 მმ) აფუების კოეფიციენტზე



ნახ. 14. ორგანული ბუნების დანამატთა რაოდენობის გავლენა ყვარლის ფიქლის მსხვილ ფრაქციებზე აფუების კოეფიციენტზე (δ = 2 - 5 მმ)

ანუ ძირითადად ფხვიერი მასალის სახით წარმოგვიდგება. აღნიშნულის მიზეზი დანამატის სახე შეიძლება იყოს, რადგან ზეთის დამატების

შემთხვევაში მაღალი ალბათობით SO - სერიის შედგენილობიდან თხევადი ზეთისნაადრევი ამოწვავა მოსალოდნელი.

ცხრილი 12. ოპტიმალური ნარევიდან მიღებული აფუებული მშრალი მასალებისნაყარი მოცულობითი წონები და სიმტკიცე კუმშვაზე

მასალის ინდექსი	მშრალი აფუებული მასალის მოცულობითი წონები (γ _{გრ.} კგ/მ ³ და სიმტკიცე კუმშვაზე (σ ¹ , მპა)							
	ფრ. 0,5 – 1 მმ		ფრ. 1 – 2 მმ		ფრ. 2 – 3 მმ		ფრ. 3 – 5 მმ	
	γ _{გრ.}	σ ¹	γ _{გრ.}	σ ¹	γ _{გრ.}	σ ¹	γ _{გრ.}	σ ¹
S	540	8,2	500	7,9	475	7,2	460	6,7
SO-2	560	9,9	550	9,8	490	7,7	480	7,5
SF-4	620	12,4	595	11,3	525	8,9	505	6,2
SC-4	595	13,3	595	13,2	525	9,1	495	7,9

სხვა ნარევებთან მიმართებაში, მათი ტემპერატურის მზარდი (დინამიკური) აწევის პროცესში, როდესაც კაზიმებში ნახერხი (სერია SF) ან ნახშირი (სერია SC), აფუებულ ნარევებში მოსალოდნელია ნაცრის წარმოქმნა, რაც ხელს უნდა უშლიდეს ყვარლის ფიქლის მარცვლების გამინების (უარყოფითი ფაქტორი) და აგრეგატებად შეცხოვას (დადებითი ფაქტორი).

ცხრილი 13. ოპტიმალური შედგენილობის ნარევიდან მიღებული აფუებული და წყლით გაჯერებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე და გარბილების კოეფიციენტის მნიშვნელობები

მასალის ინდექსი	წყლით გაჯერებული აფუებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე (σ ¹ , მპა) და გარბილების კოეფიციენტის (K _{გარბ.}) სიდიდეები							
	ფრ. 0,5 – 1,0 მმ		ფრ. 1 – 2 მმ		ფრ. 2 – 3 მმ		ფრ. 3 – 5 მმ	
	σ ¹	K _{გარბ.}	σ ¹	K _{გარბ.}	σ ¹	K _{გარბ.}	σ ¹	K _{გარბ.}
S	6,8	0,83	5,9	0,76	5,2	0,72	4,7	0,70
SO-2	8,1	0,83	7,8	0,80	6,0	0,78	5,6	0,75
SF-4	10,4	0,84	10,0	0,81	6,9	0,79	6,2	0,76
SC-4	11,3	0,85	10,8	0,82	11,4	0,80	6,1	0,76

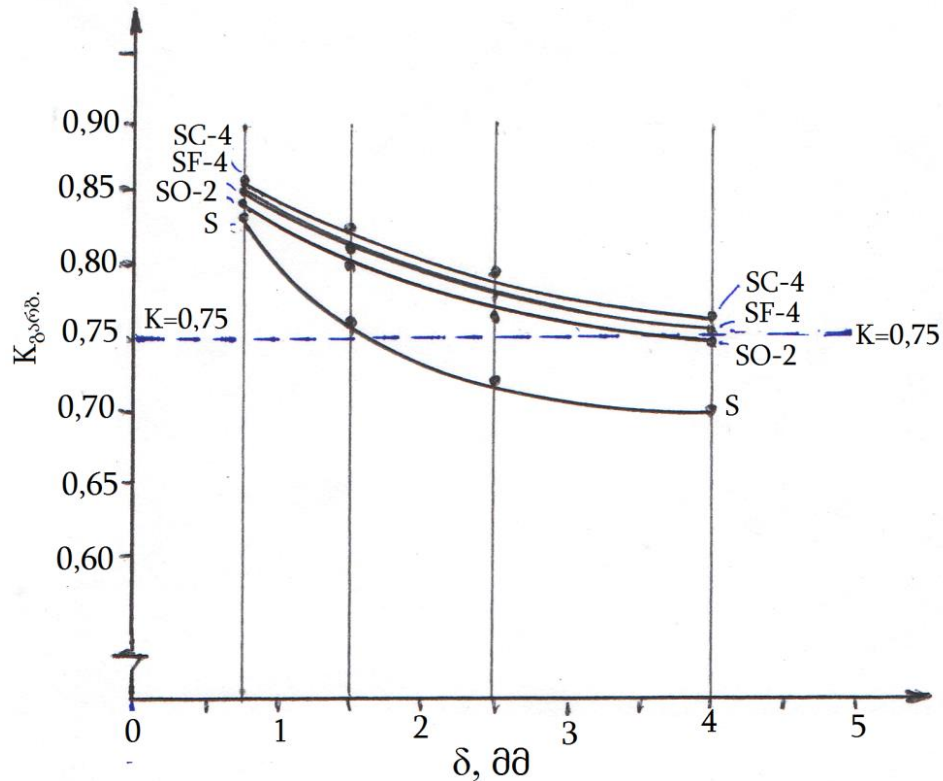
სამივე კომპოზიციაში მიღებული მასალებისათვის განისაზღვრა სიმტკიცე კუმშვაზე (σ, მპა). სიმტკიცის განსაზღვრა ჩაუტარდათ ოპტიმალურ

ნარევებიდან (კერძოდ, 2% ზეთის, 4% ნახშირის ან 4% ნახერხის) შემცველობის კაზმიდან მიღებულ მარცვლებს. სხვადასხვა ფრაქციულობის მასალებისათვის მიღებული შედეგები წარმოადგენილია ცხრილ 12-ში. ექსპერიმენტით მიღებული შედეგებიდან მკაფიოდ ფიქსირდება მასალის გრანულომეტრიის და აფუების პროცესში მონაწილე ტექნოგენური ნარჩენის დანამატის სახეობის გავლენა მიღებულ მასალათა სიმტკიცეზე: გრანულომეტრიის ზრდა ამცირებს სიმტკიცეს, ხოლო დანამატი მასალის რაობის გავლენა შემდეგი მწკრივით ჩაიწერება:

$$S \rightarrow SO \rightarrow SF \rightarrow SC,$$

ე.ი. განსხვავებული ფრაქციულობის მასალისათვის, ყველაზე ნაკლები სიმტკიცე აქვს „სუფთა“ ფიქალს, ხოლო შედარებით მაღალი სიმტკიცეებით გამოირჩევიან ნახშირის დანამატით შედგენილი კომპოზიციებიდან მიღებული აფუებული მასალები. აღნიშნული მიმართულებით ჩატარებული კვლევის საფუძველზე გამოვლინდა, რომ ფრაქციულობის და დანამატის სახეობის შერჩევით შესაძლებელია 6,7 – 13,3 მპა სიმტკიცის მქონე მასალების მიღება. (ცხრ.12)

როგორც ცნობილია, ფოროვან მასალათა ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საექსპლუატაციო თვისებას წარმოადგენს მათი წყალმედევობა. ფორიანი (აფუებული) მასალებისათვის წყალმედევობის განმსაზღვრელად მიიჩნევენ ე.წ. გარბილების კოეფიციენტს ($K_{გარბ.}$), რომელიც გაითვლება ფარდობიდან: $K_{გარბ.} = \sigma_{შშრ.} / \sigma_{წყ.}$, ანუ მშრალი და წყლით გაჯერებული მასალების კუმშვაზე სიმტკიცეთა თანაფარდობიდან. აღნიშნული კოეფიციენტის დასადგენად დამატებით განისაზღვრა წყლით გაჯერებული მასალების სიმტკიცე კუმშვაზე ($\sigma_{წყ.}$) და ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 13-ში. გარბილების კოეფიციენტის ($K_{გარბ.}$) გათვლის შედეგების საფუძველზე, აფუებულ მასალათა ფრაქციულობიდან გამომდინარე, მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 15-ზე.



ნახ.15. სხვადასხვა ფრაქციულობის აფუებული ყვარლის ფიქლის მარცვლების ზომების და წყალმდეგობის (გარბილების კოეფიციენტი) ურთიერთდამოკიდებულება

როგორც ცნობილია, მასალის წყალმდეგობის ამსახველი გარბილების კოეფიციენტის ($K_{გარბ.}$) ოპტიმალურ სიდიდით მიჩნეულია $K = 0,75$, რომელიც პუნქტირითაა წარმოდგენილი ნახ. 15-ზე. ნახატზე წარმოდგენილი გრაფიკული მასალა გვიჩვენებს, რომ წყალმდეგობის განმსაზღვრელი გარბილების კოეფიციენტი მეტია 0,75-ზე, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ სამივე (SO, SF და SC) კომპოზიციაში მიღებული მასალები წყალმდეგია, რაც მათი პრაქტიკული გამოყენების პერსპექტიულობის განმსაზღვრელი შეიძლება გახდეს.

ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებისაგან და ტექნოგენური სამი სახის დანამატის - ზეთის, ნახერხის და ნახშირის საფუძველზე შედგენილი ნარევების აფუებით ($1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, დაყოვნება (10-15 წთ)) დადგინდა, რომ აფუების პროცესის ტემპერატურის უწყვეტი ანუ დინამიკური ზრდის პირობებში ჩატარებისას:

- ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუების პროცესზე გავლენას ახდენს როგორც ფიქლის მარცვლების გრანულომეტრია, ასევე ორგანული ბუნების ტექნოგენური დანამატის სახეობა და რაოდენობა;
- ყვარლის ფიქლის აფუებისადმი მიდრეკილებას ზრდის მისი მასალის ზომა, ხოლო დანამატებიდან საუკეთესო შედეგი მიიღწევა ნახშირის ნარჩენების (ნახშირის წვრილმანი) გამოყენებით; ამ უკანასკნელის ოპტიმალური რაოდენობა 3 – 4%-ს ზღვრებშია;
- ყვარლის ფიქლის და ორგანული დანამატების გამოყენებით, შეიძლება მაღალი სიმტკიცის და წყალმდეგობით გამორჩეული ფოროვანი მასალების მიღება;
- სხვა შესწავლილი დანამატებისგან განსხვავებით ასაფუებელ ნარევიში ნახშირის წვრილმანის დანამატად გამოყენებისას შემდეგი დადებითი მხარეები აღინიშნება - ის კარგად ერევა (ნახერხთან შედარებით) ფიქალს და ნაადრევად არ ამოიწვება (ზეთის მსგავსად) აფუების თერმული პროცესის ჩატარებისას.
- სტატიკური რეჟიმით ფიქლისა და ორგანული დანამატის თერმული დამუშავება შესაძლებელის ხდის 450-600 კგ/მ³ მოცულობითი წონის (მასის) ფორიანი მასალების მიღებას, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიმტკიცით კუმშვაზე (6,7 – 13,3 მპა);

მიღებული დამამუშავებელი შედეგებიდან გამომდინარე, შემდგომი კვლევა გაგრძელდა ფიქალის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებითა და ნახშირის წვრილმანის საფუძველზე შექმნილ ნარევეებზე. ამისათვის საჭირო გახდა აფუებულ მასალათა ტექნოლოგიურ თავისებურებათა გათვალისწინება და შერჩეული თერმული რეჟიმებით მიღებული მასალებისთვის მათი ვარგისიანობის დადგენა - თვისებების განსაზღვრა. ცნობილია, რომ აფუებული მასალების მიღების საწარმოო ტექნოლოგია მოითხოვს გვირაბისებური მრგვალი (დოლისებრი) ღუმელების გამოყენებას, რომლებშიც საწყის მასალას უშუალოდ მაღალტემპერატურულ გარემოში უწევს მოხ-

ვედრა. აღნიშნულის გათვალისწინებით მომდევნო ექსპერიმენტი უკვე ფიქლის თერმული დამუშავების სტატიკური ტემპერატურული რეჟიმის გამოყენებით ჩატარდა.

2.4 ტექნოგენური ნარჩენების გავლენა ყვარლის ფიქლის სტატიკური რეჟიმის ჩატარებულ თერმოაფუებაზე

კვლევის საბოლოო ეტაპზე ჩატარებული სამუშაოები განხორციელდა ისევ 0,5 – 5 მმ მარცვლების ზომის მქონე ყვარლის ფიქალზე. დანამატებად გამოყენებული იქნა ორი განსხვავებული ბუნების მასალა. ერთი მათგანი კვლევის წინა ეტაპზე გამოვლინდა - ეს ნახშირია, უფრო კონკრეტულად კი ნახშირის წვრილმანი, რომელშიც წარმოდგენილი იყო 3 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის მარცვლები.

მეორე მასალა – დანამატად დოლომიტი, ანუ არაორგანული მასალა შევირჩიეთ, რომელსაც ახასიათებს ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში დისოციაცია (მაქსიმუმ დაახლოებით 950°C-მდე აღწევს), რომლის აირწარმოქმნის უნარს შეეძლო დადებითი ზეგავლენა მოეხდინა ფიქალის აფუებაზე. ჩატარებული კვლევებიდან კარგადაა ცნობილია, რომ ყვარლის ფიქლის ეფექტური აფუება მოსალოდნელია 950°C-ზე ზემოთ (1300°C-მდე) თერმოდამუშავებისას, ტემპერატურის მოკლევადიანი ზემოქმედებით (10-15 წთ.). იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ ასეთ პირობებში დოლომიტის მარცვლების მყისიერი თერმული დაშლა არ მოხდებოდა, მოსალოდნელად მივიჩნიეთ, რომ მისი ეფექტურობის გამოლენის შესაძლებლობა დაშლის უფრო მაღალ ტემპერატურაზეც შენარჩუნდებოდა.

ამ მიმართულებით დაგეგმილი ექსპერიმენტი შემდეგნაირად განხორციელდა. ღუმელში წინასწარ იდგმებოდა შამოტის ან უჟანგავი ლითონის ქოთნები და ღუმელის ტემპერატურა აიყვანებოდა აფუების ტემპერატურამდე, რაც ამ შემთხვევაში 1200-1250°C შეადგენდა. სასურველ ტემპერატურამდე მიყვანილი ღუმელიდან გამოიტანებოდა ცხელი ქოთანის, რომელშიც მყისიერად იყრებოდა დანამატიანი ყვარლის ფიქლის 100 – 150 გრამიანი

ულუფა და ქოთანის ისევე ღუმელში იდგმებოდა. შედარებითი კვლევის ჩატარების მიზნით ღუმელში გახურებულ ქოთანში ნახშირის და დოლომიტის იდენტური შედგენილობის ნარევეები (კაზმები) მოთავსდებოდა. პარალელურ ცდებში შეისწავლებოდა ნარევეები 1, 3 და 5 მას% (100 მას.% ფიქლის ზევით) ნახშირის და დოლომიტის დანამატებით. აფუების ხარისხის შეფასება ხდებოდა ნაყარი მოცულობითი წონის დადგენით (γ_{gr} , კგ/მ³). ამ შემთხვევაში ნარევეების შედგენისას გამოიყენებოდა $0,5 < \delta < 5$ მმ მარცვლების მქონე ფიქალი, რომელსაც საცრითი ანალიზით წინასწარ მოცილებული ჰქონდა ძალზე წმინდა-პრაქტიკულად მტვრისებრი ფრაქცია ($\delta < 0,5$), რასაც შეემლო ხელი შეეშალა აფუების პროცესისათვის, მტვრისებრი მასალების მოსალოდნელიწინმსწრები ლლობის და აქედან სხვა მსხვილი მარცვლების ნაადრევი შეცხოების გამო.

დანამატებად აღებული ნახშირის წვრილმანი და გაფხვიერებული დოლომიტი (ორივე შემთხვევაში №2 საცერში გასული ფრაქციები), აწონვის შემდეგ ემატებოდა ფიქალს, ხოლო შერევა ფაიფურის ჯამში შპატელით ინტენსიური მორვეით ხდებოდა (2-3 წუთი).

თერმული დამუშავების შედეგად მიეზულ იქნა აფუებული მორუხო-შავი ფერის მასალა, რომელიც ქოთანში შეცხოვბილი ფორიანი მასებით იყო წარმოდგენილი. აფუებული მასალის ფორიანობა (ვიზუალური შეფასებით) უფრო გამოხატული იყო 1250°C-ზე დამუშავებული კაზმებისათვის, ხოლო 1300°C-ზე გამოიკვეთა გამინების მაღალი ხარისხი და ამის გამო სინთეზირებულ მასალათა ზედაპირი გლუვი, თვით მასალა კი ნაწილობრივ „ჩამჯდარი“ სახით მიიღებოდა.

ორი განსხვავებული ბუნების (ორგანული და არაორგანული) დანამატის გავლენის შეფასება ჩატარდა სხვადასხვა ტემპერატურაზე (სტატისტიკური რეჟიმი). დამუშავებულ და განსხვავებული ფრაქციულობის აფუებული მასალის ნაყარი მოცულობითი წონების განსაზღვრით.

აფუებული მასალების ზომებად დახარისხებისათვის გამოყენებული იქნა საკრიტი ანალიზი და შემდგომი კვლევა ჩაუტარდა შემდეგი ფრაქციულობის ფორიან მასალებს:

$0 < \delta < 0,5$ (დსაშ. = 0,25 მმ) - მტვრისებრი ფრაქცია

$0,5 < \delta < 1,0$ (დსაშ. = 0,75 მმ) - ქვიშა წმინდა

$1,0 < \delta < 2,0$ (დსაშ. = 1,50 მმ) - ქვიშა საშუალო

$2,0 < \delta < 3,0$ (დსაშ. = 2,5 მმ) - ქვიშა მსხვილი

$3,0 < \delta < 5,0$ (დსაშ. = 4,0 მმ) - ქვიშა მსხვილი

$5,0 < \delta < 10,0$ (დსაშ. = 7,5 მმ) - ღორღი წმინდა

რას შეეხება თვითაფუების პროცესს, დოლომიტის და ნახშირის რაოდენობა, შედარებითი შეფასების ჩასატარებლად, აღებული იქნა 5 მას.% ოდენობით, ფიქლის 100 მას.% ზევით. აფუება ჩატარდა იდენტურ პირობებში, როდესაც ორივე სახის ნარევი ერთი რეჟიმით დამუშავდა 1200°C-ზე, 10 წუთიანი დაყოვნებით. სტატიკური ტემპერატურული რეჟიმით თერმული დამუშავების პირობისათვის უკეთესი შედეგი მიიღწევა ფიქალისა და ნახშირის წვრილმანის მონაწილეობით შედგენილი ნარევის აფუებისას (ცხრ14).

კვლევით მიღებული შედეგებიდან აღსანიშნავია აფუებულ მასალათა ნაყარი მოცულობითი წონების ($\gamma_{\text{წ}}$) ზღვრული მნიშვნელობები, რომლებიც მკვეთრად განსხვავებულია. პრაქტიკულად 0მმ-დან -10 მმ-მდე მარცვლების შემცველი ფრაქციულობისათვის მიიღება 350-დან 840-მდე (დოლომიტ-შემცველი კომპოზიცია) ან 280-დან 650-მდე კგ/მ³ ნაყარი მოცულობითი მასის მასალები. ორივე შემთხვევაში საქმე გვაქვს მსუბუქ ფოროვან მასალებთან, რომლებიც ამავდროულად სრულ $\gamma_{\text{წ}}$ -ის სპექტრში აკმაყოფილებენ ფოროვან, არაორგანულ მასალებისათვის მიღებულ სასურველ მარკიანობას (სტ. 32496-2013). მაგრამ $\gamma_{\text{წ}}$ -ის უფრო დაბალი მნიშვნელობის მიღებას, ე.ი. მაღალფორიანობის წარმოქმნას, უფრო ეფექტურად ნახშირი უზრუნველყოფს. აღნიშნულის დასტური შესაბამისი ფრაქციულობისათვის დამახასიათებელი სიმკვრივეების ფარდობა შეიძლება ჩაითვალოს. დოლომიტიანი და

ნახშირიანი ნარეგებისათვის ეს ფარდობა შენარჩუნდება, ყველა ფრაქციებისათვის და შეადგენს:

- მარცვლების ზომა 0,5-1მმ - $710/570=1,25$;
- მარცვლების ზომა 5-10მმ, $-350/280=1,25$

ე.ი. ნახშირის გამოყენება მხოლოდ იმ უპირატესობას ქმნის, რომ მის საწყის კაზმში მონაწილეობით შესაძლებელია უფრო მსუბუქი (დაბალი მოცულობითი მასის) მარცვლების მიღება.

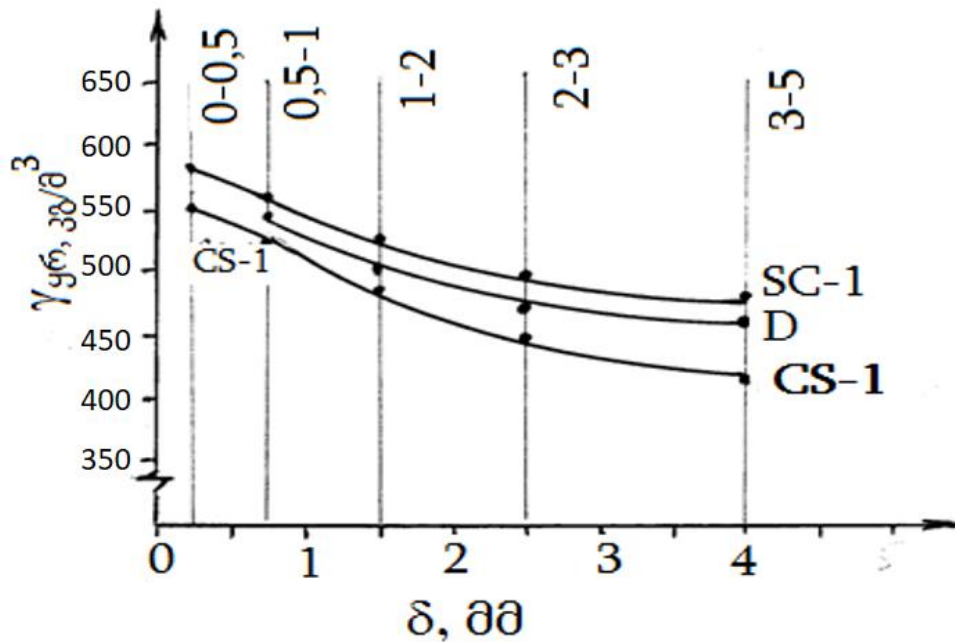
ცხრილი 14. დოლომიტის და ნახშირის 5%-იანი დანამატით შედგენილი ფიქალიანი ნარეგების აფუებით მიღებული მასალების ცალკეული ფრაქციების ნაყარი მოცულობითი წონები

დოლომიტის დამატებით (DC)			ნახშირის დამატებით (CS)		
აფუებული მასალის ფრაქციულობა (δ), მმ	ნაყარი მოცულობითი წონა (γ) კგ/მ ³		აფუებული მასალის ფრაქციულობა (δ), მმ	ნაყარი მოცულობითი წონა (γ) კგ/მ ³	
	ცალკეული გაზომვით	საშუალო		ცალკეული გაზომვით	საშუალო
5 - 10	342		5 - 10	285	
	350	350		280	280
	360			275	
3 - 5	430		3 - 5	305	
	440	440		320	315
	450			320	
1- 3	610		1 - 3	455	
	620	615		445	450
	615			450	
0,5 - 1	705		0,5 - 1	465	
	710	710		570	570
	710			575	
< 0,5	835		< 0,5	650	
	840	840		650	650
	845			655	

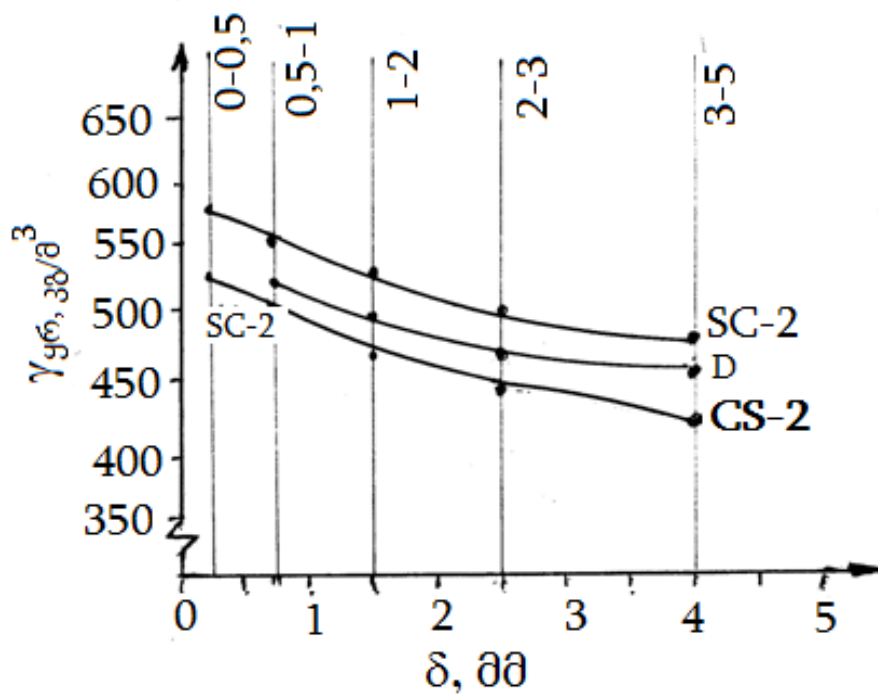
მიღებულმა შედეგებმა განაპირობა მომდევნო კვლევის ჩატარება ფიქალი - ნახშირი ნარევებში. შედგენილი იქნა ნარევები, რომლებშიც 1%-ანი ბიჯით, 1-დან 5%-მდე ნახშირის წვრილმანი ემატებოდა 100 % წვრილმარცვლოვან ფიქალს. 1, 2, 3, 4 და 5 წონ.% ნახშირის დამატებისას მიიღებოდა სხვადასხვა აფუების ხარისხის მქონე მასალა.

უნდა აღინიშნოს, რომ კვლევა ჩატარდა 1250°C-ზე საკვლევი ნარევების ღუმელში შეტანით და აღნიშნულ ტემპერატურაზე 10-წუთიანი დაყოვნებით.

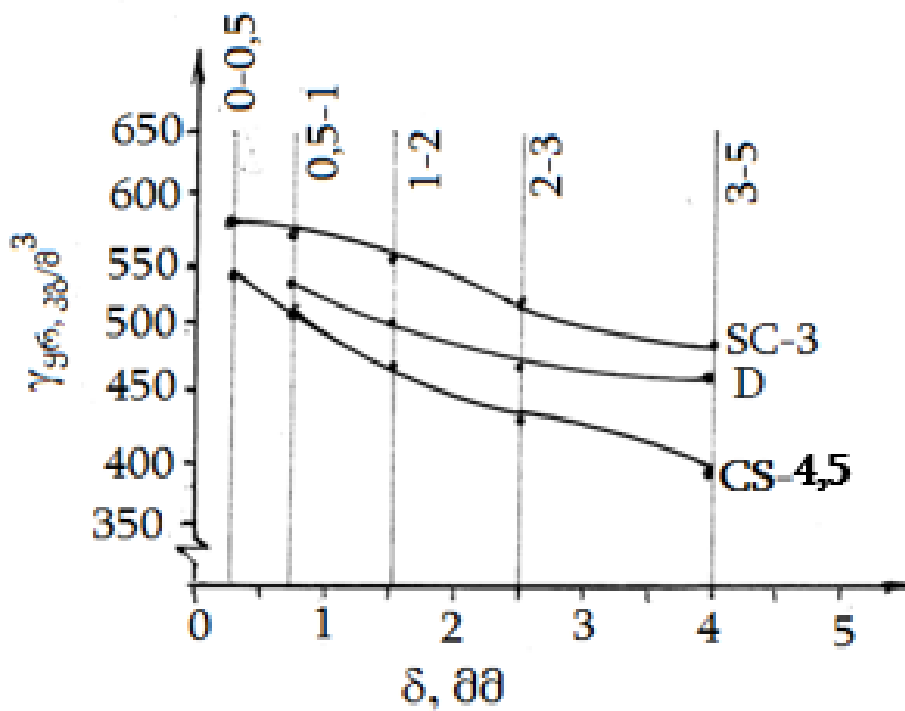
მიღებული შედეგების ამსახველ შესაბამის 4 ნახაზზე, 1250°C-ზე თერმული დამუშავებით, მიღებული აფუებული მასალის შესწავლის ამსახველი მასალა (ნახ. 16- 19) წარმოდგენილი გრაფიკული მასალა მოიცავს ინფორმაციას, როგორც საწყისი ნედლეულის - ფიქალის, ასევე წინა ეტაპზე დინამიკურ თერმული რეჟიმით აფუებულ „ფიქალი - ნახშირი“ ნარევებზე და იდენტური შედგენილობის, მაგრამ სტატიკური თერმული დამუშავებით მოცემულ მასალათა ნაყარ მოცულობითი წონების თაობაზე.



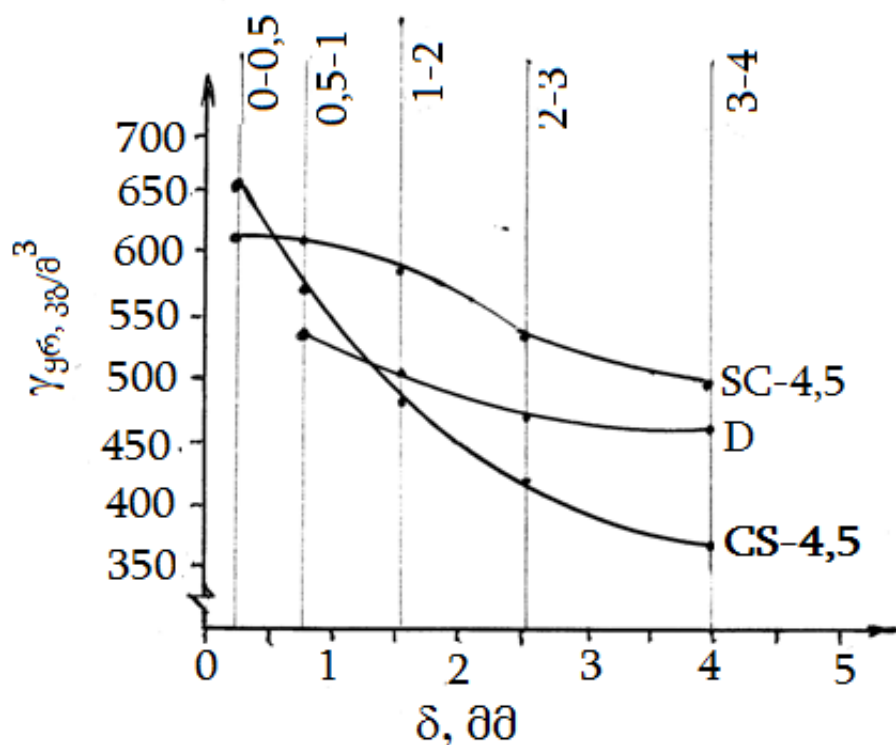
ნახ. 16. ყვარლის ფიქლის და 1% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარ მოცულობითი წონები



ნახ. 17. ყვარლის ფიქლის და 2% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები



ნახ. 18. ყვარლის ფიქლის და 3% ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევის აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები



ნახ. 19. ყვარლის ფიქლის და 4 ან 5%-იანი ნახშირის დამატებით შედგენილი ნარევების აფუებით მიღებული მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები.

ოთხივე ნახაზზე წარმოდგენილია სამ-სამი მრუდი, რომელთაგან:

D - საწყისი ნედლეულის აფუების შედეგებს გამოხატავს;

SC - ტემპერატურის დინამიკური რეჟიმით ცვლის პირობებში მიღებული შედეგია (კომპოზიცია „ფიქალი - ნახშირი“).

CS - ტემპერატურის სტატიკური რეჟიმის ჩატარებული „ფიქალი - ნახშირი“ ნარევისთერმული დამუშავების შედეგები აღინიშნა.

ინდექსებთან მიყვანილი რიცხვები, როგორც აღინიშნა „ფიქალი - ნახშირი“ ნარევი დამატებული ნახშირის რაოდენობას მიუთითებს და შეესატყვისება მის წონ.%-ს. სხვადასხვა შედგენილობის ნარევიდან მიღებული აფუებული მასალის ბოლო შედეგები (სტატიკური აფუების რეჟიმი) მრუდებზე აღინიშნა ინდექსით CS. თუ მათ შევადარებთ ნედლი ფიქალის (საწყისი ნედლეულის), რაც აღინიშნა ინდექსით D და ტემპერატურისაწევით წარმართულ დინამიკური რეჟიმით აფუებული მასალების (CS) ნაყარ მოცულობით წონებს, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ აფუების პროცესის განმსაზღვრელი პირობა - მისი თერმული დამუშავების რეჟიმია.

ყველა ნარევისათვის შეიმჩნევა აფუების ხარისხის მატება, რაც ნახ.16-19 CS-მრუდების განლაგებით დასტურდება - ნახშირის დანამატებიანი კაზიმების სტატიკურ ტემპერატურული რეჟიმით დამუშავების შემთხვევაში ნაყარი მოცულობითი წონების უფრო დაბალი მნიშვნელობით მიიღება ვიდრე ორ სხვა შემთხვევაში გვაქვს.

განსაკუთრებით იკვეთება სხვაობა 3%-იანი და მეტი ოდენობით ნახშირის დანამატის შემთხვევაში, მაგრამ არანაკლებ მნიშვნელოვანია აფუებული მასალის ფრაქციულობა. (ნახ. 16-19). ორივე ფაქტორის თანხვედრა მიღებული ფოროვანი მასალის წამყვანი თვისების - მოცულობითი მასის შერჩევითი რეგულირების ფართო ზღვრებში საშუალებას იძლევა (350-დან 600 კგ/მ³-მდე). ნახშირის დამატება ცვლის მასალათა აფუების ხარისხს მისი შემცველობის 4 წონ.%-მდე ზრდისას, ხოლო 5 წონ.% ნახშირის შემთხვევაში იგივე შედეგები მიიღწევა, რაც 4%-ან ნახშირშემცველი ნარევეს ახასიათებს. კვლევის ამ ეტაპისათვის შეგვიძლია რეკომენდაცია გაუწიოთ ფიქალის აფუებით ისეთ პროცესს, რომელიც თავისი არსით სამრეწველო პროცესებს შეესიტყვება სტატიკურ ტემპერატურულ რეჟიმში ჩატარდება. ხოლო შედგენილობებთან მიმართებაში ასაფუებელი ნარევებში ნახშირის შემცველობა 4%-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

2.4. ტექნოგენური ნარჩენების საფუძველზე მიღებული ფოროვანი მასალების მახასიათებელი თვისებების და მათი სამშენებლო საქმეში გამოყენების შესაძლებლობის შესწავლა

ნებისმიერი, მათ შორის ფორიანი მასალის გამოყენების შესაძლებლობას ძირითადად განსაზღვრავს მისი თვისებები, ფოროვან მასალათა მიმართებაში მახასიათებელ თვისებებად მიიჩნევენ მოცულობით მასას (ნაყარის სიმკვრივე), წყალშთანთქმის სიმტკიცის კუმშვაზე, წლის მიმართ მდგრადობას, თბოგამტარობას და სხვ. დამატებით მახასიათებლად გამოყოფენ მის ფორიანობას და ფოროვანი მასალის სტრუქტურულ მოწყობას.

თვისებებთან მიმართებაში ჩვენს მიერ განხორციელდა მათი დადგენა არსებული მეთოდის გამოყენებით (იხ. თავი 2,2). ამისათვის გამოვიყენეთ ორი გრანულომეტრიის მქონე სინჯები : ქვიშის ფრაქცია (0,5-5 მმ) და ღორღის ფრაქცია (5-10მმ) მარცვლების შემცველი. მათთვის დადგინდა წყალშტანთქმის უნარი, სიმტკიცე კუმშვაზე, წყალში ხსნადობა და აფუების კოეფიციენტი. შესაბამისი მეთოდის თავისებურებაა გათვალისწინებით განისაზღვრა ფორიანიზა ზოგადად ამა თუ იმ ხერხით მიღებული აფუებული მასალისათვის. აღნიშნულ მიმართულებებში ჩატარებული ექსპერიმენტი ითვალისწინებდა სამი სახის მასალათა შესწავლას:

- საწყისი ნედლეული (ფიქალი - ბუნებრივი ქანი) ;
- დინამიკური თერმოდამუშავების მეთოდით მიღებული ფორიანი მასალები;
- სტატიკური თერმოდამუშავების მეთოდით მიღებული ფორიანი მასალები.

ცხრილი 15. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების გამოყენებით მიღებული ფორიანი მასალების მახასიათებელი თვისებები

N	მახასიათებელი თვისებები	განზ. ერთ.	ყვარლის ფიქალი ქვიშა (ღორღი)	თერმოდამუშავების რეჟიმი და მასალათა სახეობა	
				დინამიკური ქვიშა (ღორღი)	სტატიკური ქვიშა (ღორღი)
1	მასალის ფრაქციულობა	მმ	0-5 (5-10)	0-5 (5-10)	0-5 (5-10)
2	ნაყარი სიმკვრივე (საშუალო მოცულობითი მასა)	კმ/მ3	550 (1120)	595 (510)	450 (410)
3	აფუების კოეფიციენტი	- -	X (X)	უარყოფითია (2.2)	1.2 (2.9)
4	წყალშტანთქმა	%	37 (22)	9 (16)	1.2 (20)
5	სიმტკიცე კუმშვაზე (ფარდობითი)	მპა	13.8 (4.9)	10.8 (5.6)	9.2 (5.1)
6	წყალმედევობა (გარბილების კოეფიციენტი)	-	>0.9 (>0.9)	>0.75 (>0.75)	>0.70 (>0.70)

შედარებითი შესწავლა განხორციელდა თერმული დამუშავებით მიღებული მასალებისასთვის, რომელთა საწყისი ნარევი შედგენილი იქნა ($d < 2\text{მმ}$) საფუძველზე. ნარევის შედგენილობაში 100 წ.ნ. ფიქალს ემატებოდა 4წ.ნ. ნახშირი. ფოროვანი მასალების მიღების დინამიკური ტემპერატურული რეჟიმი ითვალისწინებდა ოთახის ტემპერატურიდან აფუების ტემპერატურამდე 2 საათიან სვლას და $1200 \pm 100\text{C}$ -ზე 10 წუთიან დაყოვნებას. სტატიკური თერმოდამუშავების რეჟიმისათვის ტემპერატურა შეადგენდა $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ს, ხოლო ნარევის აღნიშნულ ტემპერატურაზე დაყოვნება 15 წუთის განმავლობაში ხდებოდა. აღნიშნული თერმოდამუშავებით მიღებული ფოროვანი მასალების (ქვიშის და ღორღის ფრაქციები) თვისებები წარმოდგენილია მე-15 ცხრილში.

კიდევ ერთი პარამეტრი, რომელიც მისი განსაზღვრის მეთოდიკიდან გამომდინარე ზოგად ხასიათს ატარებს, კერძოდ კი ფორიანობის განსაზღვრით დადგინდა, რომ აფუებულ მასალათა ფორიანობა დამოკიდებულია მასალის მიღების ხერხზე:

სრული ჭეშმარიტი ფორიანობა შეადგენს დაახლოებით 75% დინამიკური რეჟიმით, ხოლო 77% სტატიკური რეჟიმით მიღებული მასალებისთვის

მოჩვენებით (ღია) ფორიანობა შესაბამისად დაახლოებით 4%-ს დინამიკური და 8%-ს სტატიკური რეჟიმით მიღებული მასალებისთვის.

დახურული ფორიანობა შეადგენს (დაახლოებით): 71%-ს (დინამიკური რეჟიმით თერმოაფუებული მასალა) და 69%-ს (სტატიკური რეჟიმით თერმოაფუებული მასალა).

სასწავლო და სამეცნიერო ლიტერატურის მონაცემებიდან კარგადაა ცნობილი, რომ შემსუბუქებული სამძენებლო ბეტონების მიღების მრავალი ხერხი არსებობს და მათ შორის ცემენტის ხსნარში მსუბუქი შემცვების შეტანაა [27]. ამისათვის ხშირად ხელოვნური შემცვებებს გამოიყენებენ და აღნიშნულის დასტურად სპეციალური ლიტერატურა ან შესაბამის სტანდარტებში მათ მიმართ არსებული მოთხოვნების მოყვანა შეიძლება [14, 81].

უფრო კონკრეტულად, სანორმატივო დოკუმენტებში ჩამოყალიბებულია ბეტონის შემსვებთა მიმართ არსებული მოთხოვნები და აღნიშნულ მასალაა შორის წარმოდგენილია კერამზიტი - ფიქლებიდან და თიხაფიქლებიდან, მათი აფუებით მიღებული ხელოვნური ფოროვანი მასალა. მსგავსი მასალა მიიღება ყვარლის ფიქლის აფუებით, მაგრამ მისი ბეტონის შემსვებლად შესაძლო გამოყენების საფრთხის გადაწყვეტა მოითხოვდა კერამზიტის და აფუებული თიხაფიქლის მაჩვენებლების შედარებას. კერამზიტის მიმართ არსებული ნორმატიული მოთხოვნებით და კვლევის შედეგად მიღებული შედეგები წარმოდგენილია მე-16 ცხრილში.

შენიშვნის სახით ავლნიშნავთ, რომ კერამზიტის მიმართებაში გამოყოფენ ფრაქციულობას (ქვიშა, ხრეში, ღორღი) მარკიანობას ნაყარი სიმკვრივის და სიმტკიცის მიხედვით.

მარკიანობა ნაყარი სიმკვრივის მიხედვით მოიცავს 15 სახეობას (M150-დან M1200-მდე, რომელთაც შეესატყვისება 150-დან 1200 კგ/მ³ მასალის ნაყარი სიმკვრივე), სიმტკიცის (კუმშვაზე) 13 სახეობის (Π15 – Π400, რომლებსაც მიესადაგება 0,5-დან 8-ზე მეტი მპა-ს). სტანდარტში არსებული კერამზიტის ფრაქციებად დაყოფის წესისა და ჩვენს მიერ მიღებული შედეგების გათვალისწინებით (ცხრ.15), სტანდარტიდან ამოვიღეთ შესატყვისი მარკიანობა და შევადარეთ ის ჩვენს მიერ მიღებულ შედეგს. აღნიშნული შედარებითი მასალა წარმოდგენილია მე -16 ცხრილში.

ცხრილი 16. კერამზიტის და აფუებული ფიქლის თვისებათა შედარებითი მონაცემები

N	მასალის ფრაქციები და მარცვლების ზომა, მმ	ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივე კგ/მ ³			სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა		
		კერამზიტის მახასიათებლები		აფუებული ფიქლის მოცულობითი სიმკვრივე	კერამზიტის		აფუებული ფიქლის
		მარკა	მოცულობითი სიმკვრივე		მარკა	სიმტკიცე	
1	ქვიშა (<5მმ)	M 400	350-400		Π 200	4.5-5.5	5.1-5.6
		M 450	400-450	410-450	Π 250	5.5-6.5	
2	ხრეში (5-10მმ)	M500	450-500		Π 300	6.5-8	
		M600	500-600	510-595	Π 350	8 - 10	9.2 - 10.8
		M700	600-700		Π 400	>10	

შედარებითი ცხრილიდან ჩანს, რომ ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული აფუებული ფიქალის მახასიათებლები ავლენენ პრაქტიკულად გამოყენებული კერამზიტის პარამეტრებთან შესატყვისობას და ზოგადად იმ მარკის ჩამონათვალში ხვდებიან, რომლებიც მსუბუქი ბეტონების მისაღებად ფართოდ გამოყენებული მასალებისათვისაა მიღებული (კერამ-ზიტი, ბუნგიზიტის, აგლოპისიტის და წიდაპემზური შემკვებლები.) [81].

ჩვენს მიერ ჩატარდა აფუებული ყვარლის ფიქლების გამოცდა მსუბუქი ბეტონის შემკვებლის სახით მათი გამოყენების შესაძლებლობის დასადგენად. ამისათვის ლაბორატორიულ პირობებში ჩვენს მიერ აფუებული თიხაფიქალი აღებული იქნა ორი გრანულომეტრის მარცვლების სახით, რომელთა დაყოფა-შედგენა შემდეგნაირად ხდებოდა:

ხრეში: 5 – 10 მმ (უშუალოდ საცრითი ანალიზით)

ქვიშა: 0 – 5 მმ (ხელოვნურად შედგენილი 3 – 5, 1 – 3, < 1 მმ ფრაქციულობის მასალიდან, მათი თანაფარდობის 1:1:1 პირობისათვის)

შემკვრელად გამოყენებული იქნა ცემენტი M 400.

შესადარებლად აღებული იქნა კარგად ცნობილი შემკვებელი ბუნებრივი ბეტონისათვის - პემზა. პემზის ნატეხები ჩვენს მიერ დაქუცმაცდა და იყო ფრაქციებად ან მისგან მომზადდა ნაზავი აფუებული ფიქალის მსგავსად.

ცხრილი 17. აფუებული ფიქალის(ფ) და ბუნებრივი პემზის(პ) საფუძველზე შედგენილი ნარევების შედგენილობა (წონ.%)

ნარევის აღნიშვნა	ნარევის კომპონენტები და მათი სახეობა				ცემენტი M400	წყალი მლ
	ბუნებრივი პემზა		აფუებული ფიქალი			
	ქვიშა	ხრეში	ქვიშა	ხრეში		
პ - I	450	-	-	-	150	150
პ - II	225	225	-	-	150	130
პ - III	340	110	-	-	150	135
ფ - IV	-	-	450	-	150	150
ფ - V	-	-	225	225	150	140
ფ - VI	-	-	340	110	150	140

შედგენილ ნარევეებში კომპონენტთა თანაფარდობა შეადგენდა:

პ - I (1 ც : 3 ქვ)ფ-I

პ - II (1 ც : 1,5 ღ : 1,5 ქვ) ფ- II

პ - III (1ც : 0,75 ღ : 2,25 ქვ) ფ- III

ოთხასიანი მარკის (M 400) ცემენტის,გარკვეული ფრაქციულობის აფუ-
ებული ფიქალის ან ბუნებრივი პემზის და წყლის საფუძველზე შედგენილი
იქნა ბეტონის ნარევეები, რომელთა რეცეპტები წარმოდგენილია მე-17
ცხრილში. რეცეპტების წინაპირობას შეადგენდა ბეტონის შემადგენლებს
შორის დადგენილი თანაფარდობა, რომლებიც მოყვანილია ცხრილ 17-თან
ერთად, მის თანმხლებ შენიშვნებში და განმარტებებში.

ლაბორატორიულ პირობებში დამზადებული იქნა 5×5×5 ზომის
შემსუბუქებული ბეტონის საცდელი კუბები (ნიმუშები), რომლებიც ცხრილ
17-ში პ - I – პ - III შედგენილობის ბეტონებიდან იქნა მიღებული ორ-ორი
პარალელური ნიმუშის სახით, რაც კვლევის მიმდინარე ეტაპზე მათი
ტესტირების შესაძლებლობას მოგვცემდა, რაც განხორციელდა ცნობილი
და რეკომენდირებული მეთოდიკების საფუძველზე [82,83].

ბეტონის დაყალიბებული კუბები (12 ერთეული ფორმებთან ერთად
გადატანილ იქნა და 24 საათის განმავლობაში ინახებოდა ჰიდრაულიკურ
საკეტიან სარეჟიმო კამერაში $20 \pm 10C$ ტემპერატურის და 90%-იანი
ფარდობითი ტენიანობის პირობებში.

დაყალიბებიდან 24 საათის შემდეგ ბეტონის კუბები გათავისუფლდა
ფორმებისაგან და მოთავსდა წყლიან თერმორეგულებად წყლიან აბაზანაში,
რომელშიც $20 \pm 10C$ ტემპერატურაზე ინახებოდა 28 დღე-ღამე. 28 დღე-ღამის
შემდეგ ჩატარდა ექვსივე სახეობის 12 ნიმუშის ტესტირება წყალშთან-
თქმაზე და სიმტკიცეზე. ტესტირების შედეგები წარმოდგენილია მე-18
ცხრილში. აქვეა მოყვანილი მიღებული მასალების სიმკვრივეთა სიდიდე-
ები, რომლებიც კუბების აწონვით (გ) და მათი მოცულობასტან (სმ3)
ფარდობიდან იქნა გათვლილი.

ცხრილი 18. აფუებული ფიქალის (ფ) და ბუნებრივი პემზის (პ) საფუბველზე მიღებული ბეტონის კუბების ტესტირების შედეგები

ნიმუშის №	თვისებათა მნიშვნელობები		
	სიმკვრივე, გ/სმ ³	წყალშთანთქმა, მას.%	სიმტკიცე კუმშვაზე, კგ/სმ ²
პ - I	1,53	19,5	138,7
პ - II	1,49	20,1	132,6
პ - III	1,45	20,8	130,4
ფ - IV	1,36	21,6	127,3
ფ - V	1,26	23,4	122,5
ფ - VI	1,08	25,2	118,2

შენიშვნა:

ნიმუშები პ-I – პ-III მიღებულია პემზის შემცველი ბეტონებიდან;

ნიმუშები ფ-III - ფ-V მიღებულია აფუებული ფიქალის შემცველი ბეტონებიდან

(შედგენილობები იხ. ცხრილი 13)

კვლევის მიმდინარე ეტაპზე, ტესტირების შედეგებიდან გამომდინარე, შეიძლება ზოგადი დასკვნების გამოტანა: აფუებული ყვარელის ფიქალიდან შესაძლებელია შემსუბუქებული ბეტონების მიღება. პემზაბეტონებთან შედარებით ისინი უფრო მსუბუქია (სიმკვრივეების დაბალი მნიშვნელობებით ხასიათდებიან), ხოლო სიმტკიცის მაჩვენებლებით, აფუებული ფიქალის გამოყენებით მიღებული ბეტონები თითქმის არ ჩამოუვარდებიან პემზობეტონებს.

დასკვნა

1. შესწავლილია წმინდაფრაქციული (5მმ-მდე მარცვლების ზომით) ყვარლის ფიქლის აფუების შესამღებლობა და თერმოაფუების პროცესზე სხვადასხვა ორგანული დანამატების და თბური რეჟიმების გავლენა;
2. დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესში ორგანული დანამატების (ამორტიზირებული ზეთი, ნახერხი, ქვანახშირის წვრილმანი) გავლენა ინდივიდუალურია და განისაზღვრება დანამატის სახეობით და რაოდენობით;
3. ყვარლის დიქლის წვრილმანისა და ტექნოგენური დანამატებიდან შედგენილი ნარევის აფუების ხარისხს განსაზღვრავს თერმული დამუშავების რეჟიმი - დინამიკური (ოთახის ტემპერატურიდან აფუების ტემპერატურამდე $10^{\circ}\text{C}/\text{წთ}$ ზრდას) და სტატიკური ($1200-1250^{\circ}\text{C}$ თერმული დამუშავება 10-15 წუთიანი დაყოვნებით).
4. დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის და ორგანული დანამატიანი ნარევის დინამიკური თერმოდამუშავებისას აფუების მაქსიმუმი მიიღწევა 2 მას.% ზეთის, 3-4 მას.% ნახშირის ან ნახერხის კაზმში შეყვანით;
5. აფუების პროცესების შესწავლით დადგინდა, რომ ნარევის დინამიკური თერმოდამუშავებით მიიღება დაბალფორიანი მასალები, რომელთა მოცულობითი მასა $550-600 \text{ კგ/მ}^3$, რაც უფრო მაღალია ვიდრე ფიქლის მონოკაზმისათვის არის დამახასიათებელი ($450-550 \text{ კგ/მ}^3$);
6. დადგინდა, რომ ორკომპონენტიანი ნარევის აფუების უფრო მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს თერმული დამუშავების სტატიკურ რეჟიმში ჩატარება. იმ პირობებიდან გამომდინარე, რომ დანამატად ქვანახშირის წვრილმანი გამოყენება და მისი რაოდენობა არანაკლებ 4 მას.%-ს შეადგენს.
7. შესწავლილია ორივე სახის თერმოდამუშავების რეჟიმებით მიღებული ფოროვანი მასალების თვისებები და გაკეთდა ზოგადი დასკვა,

რომ მასალების თვისებებს განსაზღვრავს მათი მოცულობითი მასა და ფრაქციულობა - რაც ნაკლებია ფოროვანი მასალის ფრაქციულობა და მეტია ნაყარი მოცულობითი წონა, მით უფრო მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები მიიღწევა;

8. თერმული დამუშავების განსხვავებული რეჟიმებით მიღებულია ძირითად ქვიშის და ხრეშის კლასიფიკაციის ფოროვანი მასალები, რომლებიც ხასიათდებიან დაბალი ნაყარი სიმკვრივით (400-600 კგ/მ³), მისაღები წყალშთანთქმით (9-24%), მაღალი წყალმედევობით (გარბილების კოეფიციენტი >0,7-ზე მეტია) და გამორჩეული მექანიკური სიმტკიცით (5-13 მპა -კუმშვაზე გამოცდისას);
9. მიღებულ ფოროვან მასალათა სტრუქტურული მოწყობის შესწავლით დადგინდა, რომ ფოროვან მასალათა მიღების თბოდამუშავების რეჟიმები უზრუნველყოფენ სხვადასხვა ფორიანობის მქონე ისეთ მასალათა მიღებას, რომელთა ჭეშმარიტი ფორიანობა 75-77% შეადგენს, ხოლო დახურული ფორების რაოდენობა 69-71%-ია.
10. დინამიკური და სტატიკური რეჟიმებით მიღებული მასალების თვისებათა ანალიზი და მსგავსი სახეობის პროდუქციის (მაგ.:კერამზიტი) მიღების არსებულ ტექნოლოგიათა გათვალისწინებით, შესაძლებლადაა მიჩნეული ფოროვანი მასალის მიღება „წვრილმარცვლოვანი ფიქალი - ქვანახშირის წვრილმანი“ ნარევიდან, მათი ერთსაფეხურიანი სტატიკური თერმოდამუშავებით, არსებული ტიპის მბრუნავ ღუმელებში (აფუება 1230±20°C, დაყოვნება 10-15წთ);
11. ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგინა, რომ მიღებული ფორიანი მასალების ქვიშა-ხრეშის ფრაქციებით შესაძლებელია შემსუბუქებული ბეტონის (მოცულობითი წონა 1100-1530კგ/მ³ და სიმტკიცე კუმშვაზე 11,8-13,8 მპა-იანი ნაწარმის მიღება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. www.bstu.ru/shared/attachmens/23584. Теплоизоляционные и акустические строительные материалы.
2. www.fasgeo.ru/novie_i_nepetechislannye/teplo/solyacion_nye-materialy.html. Теплоизоляционные материалы.
3. Корчагина О.Ф., Одолько В.Г. Теплоизоляционные материалы. Изд. ТГУ, 2004.
4. www.fao.org/docrep/006/y5013e/y5013r08html5. Thermal insulation materials, technical characteristics and selection.
5. www.aerolaminsulations.com/heat-insulation-material.php. Insulation material/Regleactive Thermal. Heat Insulation Material.
6. М. Ф. Сухарев, И.Л. Майзель, В.Г. Сандлер. Производство теплоизоляционных материалов - М.: Высшая школа, 1981.
7. Майзель И. Л. Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов. М., Высшая школа, 1998.
8. Горяинов К. Э., Горяинова С. К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М., Стройиздат. 1982.
9. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий, М., Высшая школа, 1989.
10. ტატიშვილი ა., შაფაქიძე ე., საშენი მასალები და ნაკეთობანი. თსუ-ს გამომცემლობა, 1993.
11. www.uio.no/studier/matnat/kjemi/KJM5100/h06/undervisningsmateriale/16KJM5100-2006porouns.e.pdf
12. ბოლქვაძე ლ., თბოსაიზოლაციო მასალების ტექნოლოგია, „განათლება“, თბ., 1985.
13. ბუდნიკოვი პ., ბერეჟნიი ა., ბულავინი ი., კალინინა შ., კუკოლეკი გ., პოლუბოიარინოვი დ., კერამიკისა და ცეცხლგამძლეების ტექნოლოგია. „განათლება“, თბ., 1974.
14. Шустер Р.Л., Рахимова Р.А. Спанцы как сырье для получения легких заполнителей бетона. М., Недра, 1974.

15. კაკაბაძე ნ., ქოქრაშვილი ნ., მეტონიძე თ., აფუებული პერლიტი და მისი გამოყენება. „საბჭოთა საქართველო“, თბ., 1966.
16. გაბუნია ლ., ქამუშაძე ი., შაფაქიძე ე., გეჯაძე ი. აფუებული მასალების მიღება ადგილობრივი მაგმური ქანების გამოყენებით. კერამიკა, 2(25), 2011, გვ. 3-5.
17. ჯავაშვილი ზ., ჭეიშვილი თ., ფოროვანი არაორგანული მასალების მიღების და გამოყენების პერსპექტივა საქართველოში. ჟურნალი „ინტელექტუალი“, №28, 2005, გვ. 112-116.
18. სხვიტარიძე რ., შაფაქიძე ე., გიორგაძე ი., ვერულავა შ., თიხაფიქალ-შემცველი ნატანით - ყვარლის წალეკვის ეკორისკის, ხოლო მაღალეფექტური საშენი მასალების წარმოებით სიღარიბის შემცირების ხელშეწყობა, კალაპოტიდან ნატანის ამოწმენდა-გატანა-უტილიზაციის ინოვაციური ტექნოლოგიები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, №3(38), 2015, გვ. 26-31.
19. გაბუნია ლ., შაფაქიძე ე., მაღალაშვილი გ., გეჯაძე ი., მდ. დურუჯის თიხაფიქლების შესწავლა სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოყენების მიზნით. ემნი-ს საიუბილეო შრომათა კრებული. თბილისი, 2009, გვ. 399-401.
20. Мирианашвили А. Д., Койвунен Л. Т., Схвитаридзе Р. Е., Николеишвили Т. Г., Рухадзе Д.Р., Саруханашвили А. В., Чеишвили Т. Ш., Физико-химическое исследование Кварельского спанца с целью широкого применения в силикатной промышленности. Журнал "Керамика", 2(6), 2001, с. 17-20.
21. ჭეიშვილი თ., ჯავაშვილი ზ., ყვარლის ფიქლის საფუძველზე ფოროვანი მასალების მიღების შესაძლებლობების შესწავლა. კერამიკა №2(38), 2014, გვ. 49-52.
22. ჯავაშვილი ზ., ჭეიშვილი თ., ადგილობრივი ბუნებრივი ქანების გამოყენებით ფოროვანი მასალების მიღება და შესწავლა. სტუ-ს შრომები, №4(498), 2015, გვ. 37-41.
23. ჭეიშვილი თ., ჯავაშვილი ზ., აფუებული თიხაფიქალი, მისი მახასიათებელი თვისებები და გამოყენების პერსპექტივები. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა“. შრომების კრებული, ნაწ. 1. ქუთაისი, 2016, გვ. 130-132.

24. Чеишвили Т. Ш., Джавашвили З.Г., Оманидзе Н. Ш., Пористые материалы на основе местных глинистых сланцев, Химический Журнал Грузии, т. 16, №1, 2016, с. 213-216.
25. ჭეიშვილი თ., ომანიძე ნ. ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუების პროცესის შესწავლა. ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, ტ. 19, 2(38), 2017, გვ. 73-77.
26. ომანიძე ნ., ჭეიშვილი თ. წვრილმარცვლოვანი თიხაფიქალის აფუების ხარისხისა და მახასიათებელი თვისებების ურთიერთდამოკიდებულების საკითხისადმი. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტ. 17, №1, 2017, გვ. 189-195.
27. Горьянов К. Э., Дубенецкий К. Н., Васильков С. Г., Попов Л. Н., Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. М., Стройздат, 1966.
28. Природные ресурсы Грузинской ССР. т. 2. Неметаллические полезные ископаемые. М., Изд. АН СССР, 1959.
29. Демидович Б. К. Пеностекло. Минск, Наука и Техника, 1975.
30. Химическая технология стекла и ситаллов. Под ред. Н. М. Павлушкина, М., Стройздат. 1983.
31. სარუხანაშვილი ა., ქუთათელაძე ნ., მინის ტექნოლოგიის ზოგადი კურსი. თბ., სტუ-ს გამომცემლობა, 1993.
32. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Вспреченный перлит](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вспреченный_перлит)
33. <http://infahim.ru/products/2412> (Перлит).
34. Саркисов П. Д. Направленная кристаллизация стекла - основа получения многофункциональных стеклокристаллических материалов, М., Изд. РХТУ, 1997.
35. Баринов С. М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция. М., Наука, 2005.
36. Stroyres.net/kamennye-materiali/gravi/iskusstvebyu-Keramsitovy/html#14
37. Menicabiz.ru/как.../13_как_производят_Keramzit.html. Керамзит.
38. bibliotekar.ru/spravochnik-98-beton/72.htm

39. [Stroyres.net/kamennye.../osnvnnye-Spocobyi-polucheniya.html](http://stroyres.net/kamennye.../osnvnnye-Spocobyi-polucheniya.html).
Технология получения Керамзита.
40. namillion.com/ptoizvodstvo-keramzita.html Миницех по производству керамзита: плюсы и минусы бизнеса.
41. Горопков Н. Е., Кутугин В. А., Зависимость физико-химических свойств глинистого сырья в технологии керамзитов. Химические науки. №11, 2014.
42. Онацкий С. П. Производство керамзита. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Стройздат, 1987.
43. ჯავაშვილი ზ., ყვარლის ფიქლის საფუძველზე ფორიანი მასალების მიღება და მათი თვისებების შესწავლა. დოქტორის აკადემიკური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის ავტორეფერატი, თბ., სტუ, 2016.
44. Августиник А. И. Керамика. Стройиздат. Л., 1975.
45. Штрюбель Г., Циммер З. Х. Минералогический словарь. М., Наука, 1987.
46. Минералогическая энциклопедия/Под ред. К. Фрея. Л., Наука, 1985.
47. [https://ru.wikipedia.org/wiki \(Вспученный вермикутит\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вспученный_вермикутит)
48. <http://www.Youtube.com/playlist=PLICIYYgEg9,N#32j> и [kulkitp !56q-Muf](http://www.kulkitp.ru/!56q-Muf) (вермикулит. Применение и свойство).
49. Каменский С. П. Перлиты. Свойства, технология и применение. М., ГИЛСАМСМ, 1963.
50. [http://www. bibliotekar.ru/spravochnik-98-beto/90htm](http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-98-beto/90htm). (Вспученный перлит. Производство).
51. [http://ru.wikipedia.org/wiki \(Вспученный перлит\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вспученный_перлит).
52. <http://infracim.ru/products/2412>(перлит).
53. Shapakidze E., Skhvitaridze R., Gejadze I., Maisuradze V., Nadirashvili M., Khuchua R., Study od allivium shales (Falling rockws of Caucasian ridge, Cererated as a result of Sill-mudflows) as a pozzolanic aaditive for cement. Journal of the Ceorgian Ceramists association. Vol. 18 1(35). 2016, P. 59-54.

54. კუკოლევი ვ., კაუზადის ქიმია და სილიკატების ფიზიკური ქიმია. „განათლება“, თბ., 1979.
55. Эйтель И., Физическая химия силикатов. М., изд. иностр. лит. 1962.
56. Пащенко А. А., Мясников Е. А., Старгевская Е. А., Гумен В. С., Физическая химия силикатов. М., Высшая школа, 1986.
57. Горщков В. С., Васильева В. Г., Федоров Н. Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. М., Высшая школа. 1988.
58. სალინაძე ი. ზურბაია ვ., მონერალოგიისა და პეტროგრაფიის მოკლე კურსი, სამეცნიერო-მეთოდური კაბ. თბ., 1956.
59. Лазаренко Е. К. Курс минералогии. Изд. 2-е, М., Высшая школа, 1971.
60. Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. т. 2. (Неорганическая химия (Химия металлов), М., Изд., 1972.
61. Справочник химика. т. 2. Л. - М., ГНТИ Хим. лит. 1963.
62. Рябинова В. А., Хавин З.Я., Краткий химический справочник. Изд. 2-е, Л., Химия, 1978.
63. მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოების შესასრულებლად კერამიკისა და ცეცხლგამძლე მასალების ქიმიურ ტექნოლოგიაში. შემდგ. ქ. ქინქლაძე, ი. გაგუა, თბ., სპი, 1989.
64. მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოების შესასრულებლად კერამიკისა და ცეცხლგამძლე მასალების ქიმიურ ტექნოლოგიაში. შემდგ. ზ. კოვზირიძე, ქ. ქინქლაძე, თბ., სპი, 1987.
65. ლაბორატორიული სამუშაოები სამშენებლო კერამიკისა და ხელოვნური ფოროვანი შემვსებების ტექნოლოგიაში. შემდგ. ვ. სიხარულიძე, ნ. დევიძე. თბ., სპი, 1989.
66. Горлов И. П., Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов. М., Высшая школа, 1982.
67. Лукин Е. С., Андрианов Н. Т., Технический анализ и контроль производства керамики. М., Сториздат, 1986.

68. Книгина Г.И., Вершинина Э. Н., Тацкий Л. Н., Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей, М., Высшая школа, 1985.
69. ჭეიშვილი თ., ქუთათელაძე ნ., მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოების ჩასატარებლად სიტალების ტექნოლოგიაში. თბ., სპი, 1983.
70. მაჩალაძე თ., თერმული ანალიზი. თბ., სტუ, 2006.
71. Федоров Н. Ф., Туник Т. А. Лабораторный практикум по физической химии силикатов, Л., Изд-во ЛГУ, 1987.
72. Павлушкин Н. М., Сентюрин Г. Г., Ходарковская Р. Я., Практикум по технологии стекла и ситаллов. М., Строиздат, 1970.
73. Горшков В. С., Термография строительных материалов. М., Строиздат, 1968.
74. Горшков В. С. Тимащев В. В. Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М., Высшая школа, 1981.
75. Мчелов-Петросян О. П., Химия неорганических строительных материалов. М., Строиздат, 1988.
76. Зевин Л. С., Хейкер Ю. М., Рентгеновские методы исследования строительных материалов. М., Стройиздат., 1985.
77. Зевин Л. С., Завьялова Л.Л., Количественный рентгенофазовый анализ. М., Недра, 1985.
78. Толкачев С.С., Таблицы межплоскостных расстояний. Л., Химия, 1968.
79. Михеев М. Н. Ренгенометрический определитель минералов. М., Геотехиздат. 1957.
80. Каталог ASTM, 1982. К/м 3-08, 5-06, 9-03, 11-418
81. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия. ГОСТ 32496-2013. М., Стандартинформ, 2014.
82. Буров Ю. С., Колокольников В. С. Лабораторный практикум по курсу "Минеральные Вяжущие вещества", М., Строиздат, 1987.
83. Тимащев В.В. Каушанский В. Е. Технический анализ и контроль производства вяжущих материалов и асбоцемента. М., Строиздат, 1974.